

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 808 909

②1 N° d'enregistrement national : 00 06113

⑤1 Int Cl⁷ : G 06 F 17/60

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 11.05.00.

③0 Priorité :

①3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 16.11.01 Bulletin 01/46.

①6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.

①0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : BILLIOTTE JEAN MARIE — FR,
ADLERBERG INGMAR — FR, DOUADY RAPHAEL —
FR, LE MAROIS OLIVIER — FR, KOVALENKO YVAN
— RU, DURAND PHILIPPE — FR et BASSET FREDE-
RIC — GB.

⑦2 Inventeur(s) : BILLIOTTE JEAN MARIE, ADLER-
BERG INGMAR, DOUADY RAPHAEL, LE MAROIS
OLIVIER, KOVALENKO YVAN, DURAND PHILIPPE et
BASSET FREDERIC.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : BILLIOTTE JEAN MARIE.

⑤4 PROCÉDE DE SIMULATION STOCHASTIQUE CENTRALISÉE ET TÉLÉTRANSMISSION DE SCÉNARIOS
PROBABLES POUR L'OPTIMISATION PROBABILISTE DES PARAMÈTRES DE SYSTÈMES INDUSTRIELS
DISTANTS.

⑤7 Procédé « statistique/probabiliste » de simulation sto-
chastique visant à effectuer de manière hiérarchisée mais
conjointe la prédiction probabiliste du comportement futur
et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une
multitude de systèmes industriels locaux distants (S_u ($u = 1 \dots n$)). Les systèmes industriels locaux (S_u) sont soumis à
un environnement global commun (E) évolutif, décrit numé-
riquement par p variables d'état communes ($X_i(t)$ ($i = 1 \dots p$)). D'une part, au niveau d'un site centralisé émetteur (U), on
génère répétitivement de manière centralisée à des instants
(t_0) successifs, une « smp série de simulations probabilistes » ($W_{i,j}^k$ ($i = 1 \dots p, j = 1 \dots s, k = 1 \dots m$)) multi-valuée de description
des variables d'état ($X_i(t)$ ($i = 1 \dots p$)) de l'environnement (E). On télétransmet répétitivement ces « smp séries de simu-
lations probabilistes » ($W_{i,j}^k$) en direction de l'ensemble de la
multitude des systèmes locaux distants (S_u).

D'autre part, au niveau de chacun des systèmes locaux
(S_u), on collecte les « smp séries de simulation probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuées et on effectue un traitement numé-
rique statistique local spécifique sur lesdites séries de simu-
lation probabiliste ($W_{i,j}^k$) reçues pour prédire le
comportement futur probabiliste des systèmes industriels

locaux (S_u).

Le procédé selon l'invention peut être avantageuse-
ment utilisé dans de nombreuses applications aussi bien in-
dustrielles, financières, qu'agricoles, etc., où le
comportement de sites industriels décentralisés soumis à
un même environnement aléatoire doit être optimisé.



FR 2 808 909 - A1



Domaine technique

L'invention se rapporte au domaine technique du « Risk Management Industriel » et plus spécifiquement :

- 5 - aux processus statistiques/probabilistes de prédiction de la loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur de comportement futur et de l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de systèmes industriels locaux distants soumis à un environnement global commun aléatoire évolutif,
- du type par simulation, c'est-à-dire fonctionnant par échantillonnage préalable de scénarios probables des états futurs des variables d'environnement.

L'invention se rapporte spécifiquement au cas :

- où une multitude de sites industriels décentralisés ont un comportement incertain du fait qu'ils sont soumis à un environnement global commun aléatoire évolutif (que l'on peut dans la majorité des cas qualifier d'environnement de risque),
- 15 - et où cet environnement aléatoire évolutif est néanmoins quantifiable, c'est-à-dire qu'il peut être majoritairement décrit numériquement par des variables d'état communes (au sens défini ci-après) à l'ensemble des sites industriels.

Ces variables d'état sont en effet:

- soit, communes à l'ensemble des sites industriels,
- 20 - soit, lorsqu'elles sont en apparence spécifiques à un site industriel, « quasi-commune » du fait que leur comportement est dicté par des relations complexes avec d'autres variables d'état du modèle (non spécifiques au dit site), de telle sorte que leur loi de probabilité ne peut être décrite indépendamment de celle des autres variables d'état communes ou spécifiques d'autres sites.

25 Par la suite, et notamment dans la description qui va suivre ainsi que dans le texte des revendications, on désignera (par extension) du terme de « variables d'état communes » un ensemble de variables d'état de l'un des deux types décrits ci-dessus. Par la suite, on utilisera également indifféremment le terme d'environnement aléatoire ou d'environnement de risque.

Par site industriel on entend, selon l'invention : tout lieu d'activité humaine ayant pour objet la production d'une valeur ajoutée (flux de production) — ou exprimable directement ou indirectement en terme de valeur ajoutée —, que celle-ci soit liée à l'industrie manufacturière, énergétique, agroalimentaire, financière, de transport, de santé publique ou d'exploitation des matières premières, etc.

Par la suite on utilisera fréquemment comme exemple d'application de l'invention, et comme 35 domaine d'analyse de l'art antérieur, le domaine financier. Car c'est dans ce domaine que l'application des processus de prédiction probabiliste de comportements aléatoires est le plus fréquent du fait de l'adoption de réglementations l'y contraignant (directives « CAD » du Conseil des Communautés Européennes, recommandations du « Comité de Bâle », recommandation du « Groupe des 30 »). Mais les enseignements de l'invention peuvent 40 s'appliquer dans presque tous les domaines industriels. Si l'on prend comme exemple le domaine financier, on entend par risque quantifiable (environnement aléatoire) les risques de marché, de crédit, de contrepartie, de liquidité... Par opposition, on peut considérer comme non quantifiables les risques légaux, de fraudes, médiatiques,

L'invention concerne spécifiquement les cas :

- 45 - où le comportement des variables d'état de l'environnement est incertain ou incontrôlable, en sorte que celles-ci constituent des « facteurs de risque » aléatoires qui peuvent causer une variation et notamment une baisse d'efficacité (ou un risque sur le comportement de

chacun) des sites industriels décentralisés, pouvant se manifester notamment par des pertes (d'argent, de vie humaine, de production,...) ;

- et où l'efficacité de chaque système local peut en outre être décrite par un indicateur numérique de rendement selon un modèle numérique systémique local (généralement du type paramétré) préalablement établi, dépendant pour chacun des systèmes, et à chaque instant, de tout ou partie des variables d'état et de paramètres locaux d'action permettant de régler le niveau de fonctionnement du système industriel local.

L'invention concerne les domaines industriels, aussi bien manufacturiers que financiers, publics ou privés, où il convient :

- 10 - d'estimer statistiquement pour chaque site industriel, afin de le circonscrire, un indicateur numérique de rendement aléatoire qui peut être de type soit industriel manufacturier (production, nuisance), soit financier (profit/perte) ou autre, et qui est lié à l'exercice d'une production de valeur ajoutée (production manufacturière, agricole ou financière...),
- et d'optimiser l'indicateur numérique de rendement (ou de risque) de chaque site
- 15 industriel, en réglant les paramètres locaux d'action de ce site industriel,
- ceci, en tenant compte notamment de critères réglementaires imposant des limites à cet indicateur de rendement (ou de risque),

Description de l'art antérieur

La deuxième moitié du XX^{ème} siècle a vu la prise de conscience des effets pervers du risque et par voie de conséquence de son coût et la naissance d'une nouvelle science : le « Risk Management ». Le « Risk Management » est la science :

- qui étudie les facteurs quantifiables ou non qui menacent le rendement ou le comportement d'un système industriel ou privé,
- et qui apporte des solutions stratégiques (organisationnelles et de procédure) et tactiques
- 25 (méthodes quantitatives de gestion ...) afin de combattre ces facteurs.

L'art antérieur connaît des méthodes de « Risk Management » de systèmes industriels. Ainsi le brevet US 6021402 décrit une méthode de gestion des risques d'un réseau de systèmes industriels de production électrique. Le brevet US 5930762 décrit un système de contrôle de risque d'un dispositif dont le comportement est lié à des paramètres multiples

30 d'environnement.

L'art antérieur connaît principalement cinq méthodes différentes de mesure et/ou prise de décision relative au risque des systèmes aléatoires :

- les processus à arbre décisionnel,
- les processus statistiques/probabilistes, (ex : Variance-covariance, Historique, Monte-
- 35 Carlo),
- les méthodes variationnelles (ex : La « valeur de 1 point de base » (PVO1)),
- les méthodes par scénarios extrêmes (ex : « Stress testing », « Scénario catastrophe »),
- les méthodes d'intelligence artificielle.

a) Les processus à arbre décisionnel sont utilisés dans les procédés de prise de décision séquentielle. Un diagramme qui ressemble aux branches d'un arbre montre l'ensemble des événements possibles et l'enchaînement des options de décision qui sont le résultat de décisions précédentes. Cette méthode à arbre décisionnel peut être utilisée uniquement dans les cas très simples où les événements anticipés et la probabilité de chaque événement sont déjà connus. Les calculs numériques mis en œuvre par cette méthode sont simples et peuvent

45 d'ailleurs souvent être implémentés sans calculateur. Mais elle est insuffisante pour décrire la structure de risque de systèmes aléatoires complexes.

b) Dans de nombreux cas, les événements anticipés dépendent de différentes variables d'état dont la valeur ne peut pas être connue exactement. Ce type de problèmes est habituellement analysé par un processus statistique/probabiliste. On appellera par la suite « processus statistique/probabiliste » d'estimation du comportement futur d'un système soumis à un environnement aléatoire pouvant être décrit à l'aide de variables d'état, une méthode consistant :

- à effectuer une estimation statistique de la loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur numérique de rendement de ce système,
- à partir d'un modèle de distribution de probabilité jointe des variables d'état de l'environnement (facteurs de risque) préalablement établie.

Ceci est en opposition avec le processus du type à arbre décisionnel (ou toute autre mesure du risque) dont les résultats sont des valeurs uniques.

c) Les méthodes variationnelles quantifient la conséquence sur le comportement d'un système de la variation d'un ou plusieurs paramètres d'environnement (variables d'état). Ainsi dans le domaine financier, la méthode dite « valeur de 1 point de base » (PVO1) quantifie la sensibilité d'un portefeuille de titres financiers à un mouvement parallèle et unilatéral de la courbe des taux d'intérêt vers le haut ou vers le bas pour un décalage de 0,01% (un « point de base »). On notera que dans ce cas la probabilité d'occurrence et l'amplitude du mouvement ne sont pas appréhendés. Ceci est insuffisant pour décrire la réalité du comportement de risque d'un système aléatoire complexe.

d) Les méthodes par scénarios extrêmes visent à estimer le résultat sur un système de l'occurrence de scénarios particuliers. Ainsi, dans le domaine financier, la méthode « stress testing » permet de faire varier les taux d'intérêt à plusieurs endroits de la courbe, par exemple : concomitamment à la hausse pour une des échéances et à la baisse pour une autre. On utilise cette méthode à des fins de simulation de ce qui se passerait suite à des scénarios catastrophes (prévision de ce qui est sensé n'arriver que très rarement). On notera que, dans ce cas, les aspects temps et probabilité n'interviennent pas. Ceci est également insuffisant pour décrire la réalité du comportement de risque d'un système aléatoire complexe.

e) Dans les cas différents où l'on souhaite non pas estimer un risque, mais plutôt prédire une évolution aléatoire telle que par exemple le prix du pétrole ou la variation de prix d'une action, trop de facteurs entrent en jeu qui sont eux-mêmes trop incertains et difficiles à modéliser avec des outils mathématiques. Pour aborder ces problèmes de prédiction, on utilise des méthodes dites « d'intelligence artificielle » à « réseau de neurones » et des « systèmes experts ». Ces techniques d'intelligence artificielle ont la capacité de raisonner sur la base d'informations floues ou incomplètes. Récemment, ces technologies ont été utilisées dans le domaine de la prédiction géologique de production et celui des prédictions boursières. Mais elles sont inadaptées pour des applications générales d'analyse de risque de systèmes industriels, eu égard à des critères (notamment réglementaires) communs. Ainsi le brevet US 5521813 décrit un système de prédiction des conséquences des variations climatiques sur un système productif, utilisant une méthode à régression multiple et réseau de neurones.

La présente invention se rapporte spécifiquement au domaine technologique des processus de statistiques/probabilistes qui visent à effectuer une estimation statistique de la loi de probabilité de la distribution des variations d'un indicateur numérique de rendement de ce système, à partir d'un modèle de distribution de probabilité jointe des variables d'état de l'environnement. Le domaine de l'art antérieur le plus courant dans lequel les processus statistiques/probabilistes d'analyse de risque sont utilisés est celui de la finance et plus spécialement celui des risques de marché. Dans cet environnement global de l'industrie financière, le risque de marché est le risque auquel est confronté l'investisseur en raison de sa méconnaissance de l'évolution future des variables d'état communes fondamentales du marché que sont : les cours des titres, les taux d'intérêts, les taux de change.... Ces variables

de marché, également appelées facteurs de risque, déterminent le prix des titres, des actifs contingents, des portefeuilles, ...etc.

Les risques associés à différents produits financiers peuvent être évalués par quelques nombres caractéristiques : durée et convexité pour les obligations, bêta et performance espérée pour les actions, valeur-temps, volatilité, delta, gamma, thêta, véga (dérivée par rapport à la volatilité), etc... pour les options. Mais ces différentes approches du risque dites par « sensibilité » :

- sont spécifiques à un type de produit financier,
- s'appuient sur des hypothèses de distribution spécifiques,
- 10 - ne sont pas faciles à interpréter,
- sous-estiment souvent le risque global de perte sur un portefeuille qui est pourtant celui qui importe pour l'investisseur,
- n'évaluent pas le niveau de probabilité de survenance de ces risques,
- et ne prennent pas l'horizon temporel en considération.

15 Il est préférable d'avoir une approche unifiée probabiliste et temporelle du risque. Ainsi, l'art antérieur utilise la méthode dite « Value at Risk » (VaR) comme indicateur de risque d'un système financier soumis à un environnement aléatoire de marché. Pour un actif financier (ou un portefeuille financier), la VaR est un montant tel que la perte encourue sur cet actif (ou ce portefeuille) durant un certain intervalle de temps ne dépassera VaR qu'avec une probabilité 20 de niveau (faible) donné. Le calcul de la VaR nécessite la connaissance de la loi de probabilité de la perte subie (indicateur numérique de rendement). Le problème fondamental des processus statistiques/probabilistes d'analyse de risque (et notamment des processus de calcul de la VaR) est donc de prévoir la distribution de loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur numérique de rendement (perte dans le cas de la VaR).

25 Les processus statistiques/probabilistes d'estimation statistique de loi de probabilité de la distribution des variations d'un indicateur numérique de rendement d'un système sont principalement de deux types :

- Ceux, que nous appellerons par la suite « par simulation »,
 - 30 • qui procèdent par génération d'une multitude d'échantillons statistiques multi-variés (de n -uplets) de description de valeurs probables conjointes des variables d'état (paramètres de risques),
 - qui aboutissent à la description « de l'histogramme point par point » de la structure de la loi de probabilité de la distribution statistique des variations de l'indicateur numérique de rendement du système, (c'est-à-dire dans son intégralité),
 - 35 • et qui permettent notamment de calculer la VaR de manière générale, sans hypothèse préalable sur la loi de probabilité de cette distribution statistique des variations de l'indicateur numérique de rendement ;
- Par opposition à ceux, que nous appellerons par la suite « analytiques » (et que l'on pourrait également qualifier de paramétriques, normatifs ou synthétiques,...),
 - 40 • qui ne fournissent que quelques paramètres (en nombre fixé) descriptifs de la loi de probabilité de la distribution statistique des variations de l'indicateur numérique de rendement du système,
 - qui imposent une forme particulière au modèle d'évaluation de l'indicateur numérique de rendement du système en fonction des variables d'état (paramètres de risques),
 - 45 • et qui aboutissent à des hypothèses limitatives de description paramétrique spécifique de la loi de probabilité de la distribution statistique des variations de l'indicateur numérique de rendement.

Ainsi, l'art antérieur connaît principalement quatre méthodes classiques d'estimation de la VaR (et plus généralement d'estimation statistique de loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur numérique de rendement d'un système soumis à un environnement aléatoire) :

- 5 - deux méthodes statistiques/probabilistes analytiques :
 - la technique « delta normal » ou technique « de la matrice des variance-covariance estimées », qui suppose le rendement linéaire ;
 - la technique « delta-gamma », qui tient compte d'un terme quadratique dans le calcul du rendement du système ;
- 10 - et deux méthodes de type statistique/probabiliste par simulation :
 - la technique de simulation de Monte-Carlo ;
 - la technique de l'analyse historique.

L'invention se rapporte exclusivement aux domaines techniques des procédés de type « statistiques / probabilistes par simulation ».

- 15 Pour le calcul de la VaR d'un portefeuille financier, les entrées sont classiquement :
 - les modèles mathématiques d'évaluation de prix des différents actifs, ex :
 - le modèle de prix par combinaison linéaire de variation du prix d'un actif en fonction des variations des facteurs de risque (tel que le « modèle à indice simple de Sharpe » pour les actions, qui postule que la variation du prix d'une action est une fonction du premier degré de la variation d'un indice général du marché),
 - les modèles de prix non linéaire, tel que le modèle en « développement de Taylor » indépendant du temps,
 - et les modèles de prix fonction du temps, notamment du type modèle aléatoire stationnaire, tel que « le modèle de Black et Sholes » pour l'évaluation des options ;
- 20 et les historiques, c'est-à-dire les observations des prix des différents actifs pour un certain nombre de périodes passées.

La méthode « delta normal » (ou linéaire) dite de la matrice des variances-covariances estimées est celle qui a été proposée et développée par JP Morgan, avec son système RiskMetrixTM. Elle consiste en trois étapes :

- 30 - le relevé des facteurs de risque élémentaires en lesquels les actifs financiers du portefeuille peuvent être décomposés,
 - la répartition des flux financiers associés à ces facteurs de risque élémentaires en flux agrégés correspondant à des échéances standards,
 - le calcul effectif de la VaR.
- 35 Cette méthode fait les hypothèses théoriques spécifiques limitatives suivantes :
 - les facteurs de risque liés à chaque actif obéissent à une loi normale,
 - la performance des actifs dépend linéairement des facteurs de risque,
 - et par voie de conséquence la performance globale du portefeuille dépend linéairement des facteurs de risque.

- 40 Le calcul de la VaR s'effectue alors à partir de la matrice M dite de « variance-covariance », de dimension $n \times n$ dans le cas de n facteurs de risque, et constituée à partir des $n \times (n+1)/2$ variances et covariances des variations des facteurs de risque, calculées sur la base d'un historique passé. Si l'on appelle ($\lambda = \lambda_i^{(i=1 \dots n)}$) les sensibilités du portefeuille sur les différents facteurs de risque ($X = X_i^{(i=1 \dots n)}$), la VaR est donnée par la formule :

$$45 \quad \text{VaR} = z \sqrt{\lambda M \lambda + \lambda \bar{X}}$$

- où z est le quantile de la distribution normale réduite pour la valeur de l'intervalle de confiance de la VaR retenue. En sorte que, selon la méthode de la matrice de variance-covariance, on calcule la structure du risque, dans un environnement à n facteurs de risques, en générant un ensemble de n' paramètres fixes de la matrice de variance-covariance,
- 50 descriptifs des variances et covariances des variations des facteurs de risque. C'est en ce sens

que la méthode de la matrice des variances-covariances est une méthode statistique/probabiliste analytique. L'hypothèse de linéarité retenue nécessite pour être mise en œuvre des hypothèses strictes sur les sensibilités du portefeuille, la rendant inapplicable pour des portefeuilles incluant des risques dits « gamma » ou de « convexité ».

- 5 La méthode dite « delta-gamma » est une forme plus élaborée de la méthode de la matrice des variance-covariance. Elle abandonne l'hypothèse de linéarité au profit d'une hypothèse quadratique. Elle incorpore un second ordre de sensibilité dans les analyses. Elle nécessite la mise en œuvre de calculs mathématiques sophistiqués. Malgré sa supériorité vis-à-vis de la méthode « delta normal », la méthode « delta-gamma » est inadaptée dans le cas général, 10 notamment pour évaluer le risque de portefeuilles incluant des options arrivant à maturité ou des dérivés exotiques tels que des options « knock-out ».

Au contraire, selon la méthode de simulation de Monte-Carlo, prônée notamment par Bankers Trust, avec son système RaRoc 2020TM:

- On fait le choix d'une famille de modèles d'évaluation pour les différents facteurs de 15 risque ou les actifs du portefeuille, justifiés à partir d'observations historiques.
 - A partir des historiques des actifs en présence et des facteurs de risque, on estime :
 - o la distribution des différents facteurs de risque, ainsi que des paramètres qui lui sont associés : moyennes et matrice de variance-covariance...
 - o ainsi que les relations liant les prix des actifs et les facteurs de risque.
 - 20 - Pour l'ensemble des différents facteurs de risque et sur la base des modèles probabilistes retenus et des paramètres de distribution déterminés, on émet grâce à un générateur pseudo-aléatoire, un grand nombre (quelques centaines à quelques milliers) d'échantillons pseudo-aléatoires extraits d'une distribution estimée des variations probables futures des facteurs de risque.
 - 25 - On introduit les valeurs des échantillons de chacune de ces simulations dans les relations de comportement des actifs en fonction des facteurs communs de risque.
 - On reconstitue pour chacun des échantillons de simulation la valeur correspondante du portefeuille.
 - On construit l'histogramme global de loi de probabilité de la distribution statistique des 30 variations de valeur du portefeuille, sans hypothèse préalable sur cette dernière.
- C'est en ce sens que la méthode de simulation de Monte-Carlo est une méthode statistique/probabiliste par simulation.

La méthode d'analyse historique, prônée notamment par Chase Manhattan, avec les systèmes CharismaTM et Risk\$TM est une simplification de la méthode Monte-Carlo. Selon cette 35 méthode d'analyse historique, on émet la multitude d'échantillons des variations probables futures des facteurs de risque directement à partir de l'historique du marché. A titre d'exemple, la VaR historique à un jour d'un portefeuille peut être estimée à partir de cent échantillons de scénarios de la manière suivante :

- On collecte les valeurs reconstituées des facteurs de risque à partir de l'historique du 40 marché sur les cent derniers jours de cotation.
- Pour chaque jour, on détermine le pourcentage de variation de chacun des facteurs de risque. Cela permet de simuler cent échantillons multi-valués de valeurs probables de chacun des facteurs de risque.
- On introduit les valeurs des échantillons correspondant à chacune de ces observations 45 historiques dans les relations de comportement des actifs en fonction des facteurs communs de risque.
- On reconstitue pour chacun des échantillons historiques la valeur correspondante du portefeuille.
- On construit l'histogramme global de loi de probabilité de la distribution statistique des 50 variations de valeur du portefeuille, sans hypothèse préalable sur cette dernière.

C'est en ce sens que la méthode par analyse historique est également une méthode statistique/probabiliste par simulation.

Le principe de l'analyse de risque utilisant une méthode « statistique/probabiliste par simulation » est connu de l'art antérieur et utilisé dans de nombreux domaines aussi bien financiers qu'industriels. La présente invention qui comporte (en combinaison) la mise en œuvre d'une méthode de ce type ne revendique nullement ce moyen pris seul. On peut citer le brevet FR2769703 qui décrit un procédé pour déterminer selon la méthode Monte-Carlo l'incertitude de mesure d'une machine à mesurer en coordonnées. Le brevet EP0837408 décrit un procédé de simulation de pulvérisation par méthode Monte-Carlo. Le brevet W09905685 décrit un système automatique de surveillance industrielle par méthode Monte-Carlo. Le brevet W09859322 décrit un système de génération des valeurs de pixels d'une image par méthode Monte-Carlo. Le brevet W09852132 décrit un système d'affectation de ressources organisationnelles et d'évaluation des coûts et prix des ressources par méthode Monte-Carlo. Le brevet W09850835 décrit un contrôleur programmable pour superviser les activités d'équipements industriels par méthode Monte-Carlo. Le brevet W09836364 décrit un processus d'évaluation d'intégrale par méthode Monte-Carlo. Le brevet US5940810 décrit une méthode d'estimation de la valeur d'actifs financiers complexes par méthode Monte-Carlo.

On constate que l'on peut répartir les méthodes statistiques/probabilistes d'estimation de loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur numérique de rendement d'un système soumis à un environnement aléatoire (et notamment les méthodes d'estimation de la VaR) en deux groupes distincts:

- les méthodes analytiques selon lesquelles on génère un nombre fixé et petit de paramètres descriptifs du comportement statistique des paramètres de risque, et aboutissant à une description paramétrique de la loi de probabilité de la distribution statistique des variations de l'indicateur numérique de rendement d'un système, (c'est le cas notamment de la méthode de la matrice des variances-covariances de RiskMetricsTM « delta normal » ou « delta-gamma »);
- et les méthodes par simulation qui procèdent par « échantillonnage de scénarios probables de variables d'environnement » et selon lesquelles on génère une multitude (dont le nombre peut être choisi) de tirages répétés d'échantillons de valeurs futures probables plausibles des variables d'environnement, aboutissant à une description globale absolue de l'histogramme de loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur numérique de rendement d'un système (c'est le cas notamment de la méthode de Monte-Carlo et de la méthode d'analyse historique).

L'invention se rapporte exclusivement aux procédés d'analyse de comportement :

- de type « statistique/probabiliste par simulation »,
 - effectuant un « échantillonnage (tirage) de scénarios probables multi-valués des variables d'environnement ».
- 40 L'art antérieur sait, au niveau d'un site unique, mettre en œuvre une méthode de type « statistique/probabiliste par simulation », et notamment effectuer l'ensemble des acquisitions de données, calculs statistiques, etc... en vue de déterminer la loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur numérique de rendement d'un système lorsqu'il est soumis à un environnement aléatoire. L'art antérieur sait également calculer la VaR du portefeuille d'une institution financière seule, par méthode « statistique/probabiliste par simulation ».

Il est par ailleurs connu par l'art antérieur d'émettre répétitivement des valeurs numériques d'un site centralisé en direction d'une multitude de sites distants. C'est notamment le cas des écrans de données financières de type Reuters ou Bloomberg. Un site central est relié à des

sources de données variables et aléatoires d'environnements (cours d'actifs financiers, etc...). Il concentre ces données et les émet répétitivement de manière décentralisée en direction d'une multitude de sites distants (écrans d'opérateurs financiers). Mais on constatera que selon l'art antérieur, les données télétransmises sont des données réelles observables (valeurs de titres) ou sont quasi-observables, c'est-à-dire reconstituées par calcul (valeurs d'indices, taux de rendement internes...) et destinées à être utilisées comme telles. L'art antérieur ne connaît pas le principe de la télétransmission systématique et répétitive d'échantillons probables multi-valués de valeurs futures possibles de variables d'environnement en vue de reconstituer un histogramme.

10 Les méthodes de l'art antérieur telles qu'exposées ci-dessus ne permettent pas d'effectuer de manière satisfaisante la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de systèmes industriels locaux distants soumis à un environnement global commun. Notamment elles ne permettent pas de calculer concomitamment dans de bonnes conditions la VaR d'une multitude de sites financiers

15 distincts gérant des portefeuilles de titres. En effet :

D'une part, comme on l'a vu plus haut, seuls les processus statistiques/probabilistes qui visent à effectuer une estimation statistique de loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur numérique de comportement, donnent une mesure satisfaisante fiable et fidèle des risques.

20 D'autre part, parmi les processus statistiques/probabilistes :

- A) La méthode analytique, et notamment la méthode de la matrice de variance-covariance estimée, est simple et nécessite peu de calcul. Elle peut d'ailleurs être mise en œuvre conjointement au niveau de plusieurs sites distants. Ainsi, selon une variante de mise en œuvre de l'art antérieur, le système RiskMetricsTM fournit à partir d'un site centralisé, par
- 25 Internet, et en direction d'une multitude de sites distants qui utilisent sa méthode, une émission répétitives d'un nombre fixé de paramètres de la matrice de variance-covariance. En sorte que le calcul global de la VaR est hiérarchisé entre le site central et les sites distants. Par contre les valeurs transmises ne sont pas des échantillons probables multi-valués de variables d'environnement mais de simples paramètres (voir plus haut). Le
- 30 défaut de cette méthode est qu'elle nécessite des hypothèses de base très strictes (normalité conditionnelle, linéarité, stationnarité) qui ne sont pas satisfaites pour une grande partie des instruments financiers. En sorte que le calcul de la VaR selon la méthode de la matrice de variance-covariance produit des erreurs dans le cas de portefeuilles comprenant des instruments ayant un « gamma », une « convexité » (voire des inversions
- 35 de convexité ou des discontinuités) tels que les options, les notes structurées, les « mortgage-backed securities »... Plus généralement, les VaR analytiques, y compris les plus perfectionnées, résument le comportement d'une structure de risque à l'émission d'un nombre restreint de paramètres, ses « grecques » (delta, gamma, véga, thêta, ...). Ceci est en général insuffisant pour la description d'environnements ayant des facteurs de risque
- 40 complexes.
- B) La méthode classique par simulation, et notamment la technique de simulation de Monte-Carlo est considérée par la majorité des spécialistes comme la plus « pure », la plus globale, « la plus tournée vers l'avenir » dans sa conception. Elle est incontestablement la
- 45 plus juste théoriquement, la plus précise et elle s'applique à la totalité des instruments financiers. Cependant elle nécessite des choix complexes de modèles d'évaluation ainsi que des processus stochastiques de génération d'échantillons aléatoires correctement choisis. Ceci est très complexe étant donné la difficulté de l'évaluation de certains instruments et leurs constantes évolutions. Elle mobilise des équipes de spécialistes nombreuses pour être correctement implémentée sur un site. En outre elle nécessite pour
- 50 être précise la génération d'un nombre très important de tirages pseudo-aléatoires

- d'échantillons. Ceci rend nécessaire la mise à disposition de systèmes informatiques de grande taille et coûteux. En résumé, selon la méthode Monte-Carlo de l'art antérieur, chaque site doit disposer d'un système informatique coûteux et d'une large et coûteuse équipe de mise en œuvre. En sorte qu'elle est peu accessible à la majorité des institutions financières ou sites industriels qui pourtant souhaiteraient et auraient intérêt à la mettre en œuvre pour réduire leur risque.
- C) L'inconvénient majeur de la méthode de simulation par analyse historique est sa très grande sensibilité à la qualité des données. En effet, une ou quelques observations sortant de l'ordinaire (qu'elles soient vraiment exceptionnelles ou qu'une erreur soit à leur origine) influencent fortement la valeur de la VaR pendant une longue période (égale à la durée des historiques). On a dit que la théorie des valeurs extrêmes pouvait pallier cet inconvénient. Malheureusement, la masse des calculs que son application entraîne est prohibitive. En outre, les VaR historiques sont imprécises et doivent être complétées par des « stress tests » adéquats. Par conséquent, selon la méthode historique de l'art antérieur, chaque site doit disposer d'un système informatique coûteux et d'une large équipe de mise en œuvre. En sorte qu'elle est également peu accessible à la majorité des institutions financières ou sites industriels qui pourtant souhaiteraient et auraient intérêt à la mettre en œuvre pour réduire leur risque.

Il est connu par l'art antérieur de diffuser un scénario le plus probable de variables d'environnement en direction de sites distants (ex : téléviseurs). C'est le cas notamment des prévisions de variables météorologiques (vents, températures ...) en plusieurs points. Mais ceci ne permet pas d'avoir une vision probabiliste globale (loi de probabilité de la distribution statistique des variations d'un indicateur numérique de comportement) mais limitée à un petit nombre de paramètres au niveau de chacun des sites.

En outre, les procédures de contrôle des risques requièrent une uniformisation des mesures de risque, donc une unité de méthode dans leur évaluation.

En sorte que l'analyse de l'art antérieur fait ressortir le besoin d'une technique de prédiction probabiliste du comportement futur (et/ou d'optimisation des paramètres de rendement) d'une multitude de systèmes industriels locaux distants (notamment d'une multitude de sites financiers) soumis à un environnement global commun, donnant une mesure satisfaisante fiable et fidèle des risques, de type « statistique/probabiliste par simulation » c'est-à-dire fonctionnant par échantillonnage de scénarios probables de variables d'environnement, en utilisant globalement le minimum :

- de moyens humains,
- et de moyens en matériel de calcul informatique.

Résumé de l'invention

Le Procédé « statistique/probabiliste » de simulation stochastique selon l'invention vise à effectuer de manière hiérarchisée mais conjointe (c'est-à-dire mutualisée) la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$). Il s'applique au cas :

- où ces systèmes industriels locaux (S_u) sont très distants les uns des autres, mais sont soumis à un environnement global commun (E) évolutif, pouvant être décrit numériquement par p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$), constituant les composantes d'un vecteur d'état ($X(t) = X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$),
- où les p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$), sont communes à la multitude des n (n étant très grand $\gg 1$) systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$) décentralisés,
- et où l'efficacité de chaque système local ($S_u^{(u=1 \dots n)}$) peut en outre être décrite par un indicateur numérique de rendement ($I_u^{(u=1 \dots n)}$), selon un modèle numérique systémique

local paramétré (D_u) préalablement établi ($I_u = D_u^{(u=1...n)} (\lambda_u, X(t))$), dépendant pour chacun des systèmes (S_u) et à chaque instant (t) :

- de tout ou partie des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) du vecteur d'état ($X(t)$),
- et d'un vecteur de q paramètres (réglables) locaux d'action ($\lambda_u = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$).

- 5 Le procédé de simulation stochastique selon l'invention procède selon une méthode classique de type « statistique/probabiliste par simulation » qui consiste tout d'abord à effectuer un « échantillonnage de scénarios probables des variables de l'environnement », puis à effectuer une estimation statistique de la loi de probabilité de la distribution des variations d'un indicateur numérique de rendement de chacun des systèmes industriels locaux (S_u) à partir de
- 10 cet échantillonnage de description de la distribution de probabilité jointe des variables d'état de l'environnement préalablement établi.

Mais le procédé selon l'invention vise en outre :

- à centraliser (mutualiser) et à mettre en commun au sein d'un site central les moyens lourds (en matériel informatique et en personnel) nécessaires à la génération de cet
- 15 échantillonnage de scénarios probables des variables de l'environnement,
- et à ne réaliser, au niveau de la multitude des systèmes industriels locaux, que des calculs simples et peu onéreux en matériel informatique et en personnel spécialisé.

Dans sa forme la plus générale, le procédé de simulation stochastique selon l'invention est remarquable par la combinaison des deux moyens suivants:

- 20 □ D'une part, au niveau d'un site centralisé émetteur (U), très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$),
- ◊ on génère répétitivement de manière centralisée à des instants (t_0) successifs, une « *smp* série de simulations probabilistes » (W_{ij}^k ($i=1...p, j=1...s, k=1...m$)) multi-valuée de
 - 25 description des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement (E). Cette « *smp* série de simulations probabilistes » est, selon l'invention, constituée :
 - ◊ soit d'une série de « pseudo-états probables futurs » des variables ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement (E),
 - ◊ soit d'une série de « pseudo-variations probables futures » de ces variables
 - 30 ($\Delta X_i(t)^{(i=1...p)}$),
 - (ces séries étant simulées à un (ou plusieurs m , avec $m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1...m)} > t_0$) ;
 - ◊ et on télétransmet répétitivement ces « *smp* séries de simulations probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s des variables de l'environnement, ce de manière
 - 35 répartie décentralisée :
 - ◊ du site émetteur (U),
 - ◊ en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u).
- 40 □ D'autre part, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), répétitivement :
- ◊ on collecte lesdites « *smp* séries de simulation probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s,
 - ◊ et on effectue un traitement numérique statistique local spécifique sur lesdites séries de simulation probabiliste (W_{ij}^k) reçues pour prédire le comportement futur
 - 45 probabiliste des systèmes industriels locaux (S_u).

Eventuellement, on règle le niveau du vecteur des paramètres locaux d'action (λ_u) = ($\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq}$) de chaque système local (S_u) à une valeur optimale calculée en fonction des critères précétablis, afin notamment d'anticiper le comportement probable futur et l'efficacité de

chaque système (S_u) soumis à l'environnement (E) au cours du ou des horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).

Figures

Sur les dessins :

- 5 - La figure 1 : décrit une méthode classique recommandée par l'invention pour la saisie de mesures observables de l'état d'un environnement et leur transmission par un fournisseur de ces données observables à un site émetteur de données probabilistes selon l'invention.
- La figure 2 : décrit les principales étapes du processus de génération d'un échantillonnage de scénarios probables de variables d'état d'environnement par un site émetteur de données probabilistes selon l'invention procédant par méthode de Monte Carlo.
- 10 - La figure 3 : décrit les principales étapes du processus selon l'invention de traitement de séries d'échantillonnages de scénarios probables de variables d'état d'environnement reçus par un groupe de trois systèmes industriels locaux distants fonctionnant selon l'invention, l'un des trois systèmes étant décrit en détail.
- 15 - La figure 4 : décrit globalement les principales étapes du procédé selon l'invention de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, pour la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de systèmes industriels locaux distants.
- La figure 5 : décrit globalement les principales étapes d'une variante du procédé selon l'invention de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios variationnels probables, avec téléadaptation des paramètres numériques de calcul du rendement de chaque système industriel distant.
- 20 - Les figures 6, 7 et 8 : décrivent trois méthodes pour effectuer selon l'invention la transmission de « smp séries probabilistes » du site centralisé émetteur vers la multitude des sites industriels locaux distants et trois méthodes pour filtrer sélectivement le contenu des « smp séries probabilistes » transmises.
- 25 - La figure 9 : décrit une application particulière du procédé selon l'invention dans le domaine de l'industrie financière.
- La figure 10 : décrit une variante de mise en œuvre de l'invention pour effectuer une optimisation probabiliste groupée de certains groupes de systèmes industriels locaux.
- 30

Description de l'invention

- Les figures 1, 2 et 3 illustrent l'organisation générale des principales étapes du procédé par simulation stochastique de génération répétitive centralisée d'échantillons statistiques et de télétransmission de scénarios probables, pour la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de systèmes industriels locaux distants (S_u). Dans l'exemple retenu, les systèmes industriels locaux distants (S_u) sont constitués par des centrales électriques ($S_1, \dots, S_m, \dots, S_n$) placés dans un même environnement (E) et formant, dans ce cas particulier, un réseau de distribution électrique d'un état ou d'une région.
- 40 On voit en référence aux figures 1 et 4, l'environnement (E) d'usines de production électrique, connectée à un même réseau, influencées par des phénomènes aléatoires que sont le climat (1) agissant directement sur les performances des usines (rendement des centrales, niveau des barrages), les caractéristiques de la demande (quantité, prix) (2) affectant les revenus de la centrale électrique, la disponibilité du réseau (3) influençant le régime de fonctionnement des usines, et les caractéristiques des énergies primaires (4) influençant les coûts d'approvisionnement. Ces phénomènes aléatoires liés au comportement de l'environnement (E) du réseau sont donnés à titre d'exemple. Mais on comprendra que dans la

pratique les phénomènes aléatoires à prendre en compte sont beaucoup plus nombreux et peuvent être différents.

Même lorsqu'ils sont locaux (comme les phénomènes climatiques), ces phénomènes aléatoires ne peuvent être considérés indépendamment des phénomènes communs à toutes les usines (comme le prix du pétrole, le niveau de la demande sur le réseau). Ainsi, la température à proximité d'une usine agit non seulement sur le rendement de l'usine (donc sur son coût marginal), mais interagit avec le niveau de la demande et le prix de l'électricité. On a de fortes chances de voir évoluer cette température locale de manière corrélée avec la température à proximité des autres usines, et donc de voir le coût marginal de ces dernières varier dans le même sens et interagir par ailleurs avec le niveau de la demande. Rechercher à optimiser la marge d'une usine en faisant une analyse statistique des paramètres locaux de climat indépendamment de l'analyse statistique sur les paramètres globaux conduirait à des erreurs manifestes d'optimisation. Car paramètres locaux et paramètres globaux interagissent dans le cadre d'un même environnement global commun.

En référence aux figures 1, 4 et 5, on constate qu'un centre fournisseur de données (Fo) est chargé de réunir des données observables permettant de décrire l'état de l'environnement global (E) du réseau électrique. Dans ce cas particulier de l'industrie électrique, le centre fournisseur de données (Fo) peut faire partie de la compagnie gérant l'organisation du réseau électrique. Mais dans d'autres applications, notamment financières, ce centre fournisseur de données (Fo) est une organisation indépendante (telle que les compagnies Reuters, Bloomberg) fournissant commercialement des données observables à une multitude de clients.

On a installé en différents points de l'environnement (E), une série de r capteurs ($\gamma_h^{(h=1 \dots r)}$). Ils constituent des observateurs de l'état d'environnement (E). Le fournisseur de données (Fo) collecte à distance, à chaque instant (t), les r mesures de l'état de l'environnement ($\mu_h(t)^{(h=1 \dots r)}$) en provenance des capteurs. Ces r mesures constituent, à chaque instant d'échantillonnage (t_k), les composantes d'un vecteur temporel de mesure d'environnement ($M(t_k) = (\mu_h(t_k)^{(h=1 \dots r)})$). Le fournisseur de données (Fo) est équipé d'un émetteur (AO) de données observables. Celui-ci émet sur un réseau (Ro) d'émission de données observables :

- soit directement les mesures recueillies par les capteurs (variables observables),
- soit les résultats de calculs algébriques déterministes (tels que moyennes, ...) opérés par le fournisseur de données (Fo) sur ces mesures (variables quasi-observables).

Par la suite, on assimilera variables observables et quasi-observables que l'on appellera globalement « variables observables ». Dans le cas représenté figure 1, le réseau (Ro) d'émission de données observables est schématisé par une antenne parabolique d'émission (5) transmettant les données (mesures) observables ($M(t_k) = (\mu_h(t_k)^{(h=1 \dots r)})$) de l'environnement (E) à un satellite (6).

Un site centralisé émetteur (U) selon l'invention est décrit dans sa forme générale en référence à la figure 2. Il est généralement constitué d'un système informatique (7) comprenant principalement :

- une interface de modélisation (Ω) permettant à un opérateur mathématicien de faire le choix des différents modèles et variables,
- un calculateur (C) de simulation pour effectuer les calculs numériques et statistiques,
- une mémoire de masse (H) centrale de données probabilistes,
- un récepteur (Bo) de mesures observables,
- et un émetteur (Ap) de séries de simulations probabilistes.

Ce site centralisé émetteur (U) est très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$), les centrales électriques ($S_1, \dots, S_u, \dots, S_n$) qui sont réparties sur tout le territoire de l'état et apparaîtront figures 3 à 8. Le récepteur (Bo) de mesures observables est schématisé par une

antenne parabolique de réception de données observables (8) qui reçoit en provenance du satellite (6), en flux continu périodique, les r mesures d'environnement $(M(t_k)) = (\mu_h(t_k))^{(h=1 \dots r)}$ émises par le fournisseur de données (Fo) via le réseau (Ro) d'émission de données observables. L'interface de modélisation (Ω) est préférentiellement 5 située sur le site centralisé émetteur (U). Dans le cas plus général, elle est située au sein d'un site expert (U'), qui peut être distinct du site émetteur (U) mais en tout cas distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$). Au niveau de l'interface de modélisation (Ω) ou du site expert (U'), on fait le choix :

- 10 - des p variables ($X_i^{(i=1 \dots p)}$) de l'environnement (E), également appelées facteurs de risque,
- des horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$) des différentes simulations,
- du modèle numérique descriptif d'environnement (Φ), définissant l'ensemble de p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)} = (\Phi(\mu_1(t), \dots, \mu_r(t)))$ en fonction des mesures observables ($\mu_h(t)^{(h=1 \dots r)}$) (avec généralement $p \leq r$ mais suffisamment grand, en sorte que l'ensemble
- 15 des variables d'environnement ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) décrivent physiquement, à chaque instant d'échantillonnage (t_k), la globalité de l'état de l'environnement (E)),
- et d'une loi statistique paramétrée (modèle) ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k)$) du comportement joint des facteurs de risque, au temps (t) et par tranches de temps ($\Delta t_k^{(k=1 \dots m)}$), des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$), décrite par sa densité de distribution jointe.

- 20 La loi statistique (f_α) paramétrée (décrite numériquement) est généralement choisie par un mathématicien spécialiste des modèles statistiques. Elle est justifiée à partir d'observations historiques — il peut s'agir notamment de lois normales, log-normales, etc., ou plus généralement d'une distribution statistique jointe des p variables d'environnement ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$) ou de leurs variations temporelles ($\Delta X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$), validée par des tests statistiques
- 25 classiques adéquats (moyennes, variances, corrélations, sauts, comportements extrêmes, etc.).

Au fur et à mesure de la réception des données observables d'environnement que l'on reçoit sur demande ou en continu, on met à jour et on enregistre dans la mémoire de masse (H) l'historique périodique des valeurs des mesures ($\mu_h(t)^{(h=1 \dots r)}$). Le calculateur (C) calcule, à chaque période d'échantillonnage (t_k) successive, à l'aide du modèle numérique descriptif 30 d'environnement (Φ) et du vecteur de mesures ($M(t)$), les p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)} = (\Phi(\mu_1(t), \dots, \mu_r(t)))$). Préférentiellement, le calculateur (C) calcule et met également à jour répétitivement l'historique des variations des p variables d'état ($\Delta X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) qu'il enregistre dans la mémoire de masse (H). On entend par variations des variables d'état, soit la différence, soit le ratio de deux valeurs d'une variable à des instants 35 successifs, ou plus généralement toute valeur numérique décrivant les variations (absolues ou relatives) de la variable entre deux instants successifs.

Le calculateur (C) est muni d'un système simulateur (9) de scénarios, d'un système calibreur (10) de la loi statistique paramétrée (f_α) pour qu'elle soit conforme aux observations historiques mémorisées dans la mémoire (H), et d'un générateur aléatoire (11) permettant de 40 construire répétitivement des « *sm*p séries de simulations probabilistes » ($W_{i,j}^k$) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$).

Diverses méthodes de fonctionnement du simulateur (9) de scénarios seront décrites plus loin. Certaines génèrent des séries de simulations des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$), et d'autres des 45 séries de simulation des variations des p variables d'état ($\Delta X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$). En sorte qu'au niveau du site centralisé émetteur (U), à partir de la densité de distribution jointe de la loi statistique paramétrée ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k)$) retenue du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i), on génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs, une

« smp série de simulation probabiliste » (W_{ij}^k ($i=1...p, j=1...s, k=1...m$)) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E).

Selon un premier mode de mise en œuvre, cette « smp série de simulation probabiliste » est une « smp série probabiliste » (X_{ij}^k) de pseudo-états formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-états futurs ($X_{ij}(t_k)$ ($i=1...p, j=1...s, k=1...m$)), comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques possibles des pseudo-valeurs futures probables des p variables d'état ($X_i(t)$ ($i=1...p$)) et constituées :

- pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps (t_k ($k=1...m$)) de la simulation,
- de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-états futurs possibles ($X_j^{kU=1...s}$) =

10 ($X_{ij}(t_k)$ ($i=1...p, j=1...s$)) du vecteur des p variables d'état ($X_i(t_k)$ ($i=1...p$)).

Selon un second mode de mise en œuvre décrit figure 5, cette « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) est formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-variations ($\Delta X_{ij}(t_k)$ ($i=1...p, j=1...s, k=1...m$)) futures à partir de la valeur courante des variables d'état ($X_i(t_0)$ ($i=1...p$)), comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques de pseudo-variations futures probables

15 des p variables d'état ($X_i(t_k)$ ($i=1...p$)) et constituées :

- pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps (t_k ($k=1...m$)) de la simulation,
- de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-variations numériques futures possibles ($\Delta X_{j,k}^{(j=1...s)}$) = ($\Delta X_{ij}(t_k)$ ($i=1...p, j=1...s$)) du vecteur des p variables d'état ($X_i(t_k)$ ($i=1...p$)).

Comme cela apparaît en référence aux figures 2, 3, 4 et 5, grâce à l'émetteur (A_p) de série de

20 simulations probabilistes équipant le site centralisé émetteur (U), répétitivement, à des instants t_0 successifs, on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, comprenant les $s \times m \times p$ pseudo-valeurs numériques constituée par : (cas 1) ladite « smp série probabiliste » (X_{ij}^k) des pseudo-valeurs des variables d'état ($X_{ij}(t_k)$ ($i=1...p, j=1...s, k=1...m$)), et/ou (cas 2) ladite « smp série

25 probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) des pseudo-variations ($\Delta X_{ij}(t_k)$ ($i=1...p, j=1...s, k=1...m$)).

Comme on le constate en référence aux figures 2, 3, 4 et 5, cette émission de simulations probabilistes a lieu de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) via le réseau (R_p) d'émission de données probabilistes. Dans le cas représenté, l'émetteur (A_p) de séries de simulations probabilistes est

30 schématisé par une antenne parabolique (12) d'émission de données probabilistes transmettant successivement les données probabilistes, à savoir les « smp séries probabilistes » (W_{ij}^k) au satellite (6). C'est-à-dire que les réseaux (R_0) et (R_p) sont confondus. On comprendra, que l'on pourrait tout aussi bien utiliser un autre satellite pour l'émission de données probabilistes que celui utilisé par la réception de données observables, ou un autre type de transmission de

35 données, notamment via le réseau Internet.

En référence à la figure 3, on voit l'organisation générale, selon l'invention, d'un ensemble de systèmes industriels locaux (S_u). Il s'agit, dans l'exemple retenu lié à l'industrie électrique, d'un ensemble de centrales électriques ($S_1, ..., S_u, ..., S_n$) dont le comportement industriel (production de KWs énergétiques) est influencé par l'environnement (E) décrit à la figure 1.

40 Chaque système industriel local (S_u ($u=1...n$)) comprend un système informatique local (13, 14, 15) sensiblement équivalent. L'architecture d'un système informatique local (15) du système industriel (S_u) est décrite figure 3. Celui-ci comprend principalement :

- une interface locale de modélisation (Ω_u) pour configurer le site (S_u ($u=1...n$)) en fonction de différents variables et modèles,
- 45 - un calculateur local (C_u) pour effectuer les calculs numériques et statistiques,
- une mémoire de masse locale (H_u),
- un récepteur local (Bp_u) de données probabilistes, conçu et réglé de manière à recevoir le flux de données probabilistes en provenance du satellite (6).

On constate que chaque système industriel local (S_u) est équipé d'une antenne parabolique locale (16,17,18) de réception de données probabilistes et d'un récepteur local de données probabilistes (Bp_u). De manière indépendante, au sein de chacun des systèmes industriels locaux (S_u), répétitivement on collecte, grâce à l'antenne parabolique (18) et au récepteur local (Bp_u), la succession des « smp séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times p$ valeurs numériques ($W_{ij}^k = X_{ij}^k$ ou ΔX_{ij}^k) transmises par le satellite (6).

Par l'intermédiaire de l'interface locale (Ω_u), on choisit m' ($m' \leq m$) horizons de temps, retenus parmi les m dits horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$). Eventuellement (dans le cas (2) décrit ci-dessus et représenté figure 5) où le site industriel local (S_u) reçoit du satellite (6) une « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k), on calcule localement ladite « smp série probabiliste des pseudo-états » (X_{ij}^k) constituée de pseudo-échantillons d'états futurs ($X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$) correspondante (au moins pour les m' horizons de temps (t_k) retenus).

Pour chacun des m' horizons de temps (t_k) retenus, on applique numériquement le modèle systémique local (D_u) préalablement fixé afin de déterminer dans chacun des s scénarios de simulation reçus ($j = 1, \dots, s$) l'indicateur de rendement ($I_{uj}^k = D_u(\lambda_u, X_{ij}(t_k))$) :

- pour au moins une valeur particulière ($\lambda_u = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$) du vecteur (λ_u) des paramètres locaux d'action (que l'on pourra être amené à faire varier),
- et pour chacun des s p -uplets simulés de variables d'état ($X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p)}$), correspondant audit horizon de temps (t_k) retenu de la série probabiliste de pseudo-état ($X_{ij}(t_k)^{(j=1 \dots s)}$).

On détermine ainsi s pseudo-valeurs simulées correspondantes de l'indicateur de rendement ($I_{uj}(t_k, \lambda_u) = D_u(\lambda_u, X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s)})$). On regroupe et on ordonne les s valeurs correspondantes de l'indicateur de rendement ($I_{uj}(t_k, \lambda_u)^{(j=1 \dots s)}$), selon le niveau de rendement (I_{uj}). On calcule et on mémorise dans la mémoire de masse locale (H_u) l'histogramme ($\Gamma(I_{uj})$) ainsi que la distribution de probabilité (en nombre ou pourcentage) ($\Psi_u(I_{uj})$) du niveau atteint de l'indicateur de rendement local (I_{uj}) dans la configuration (λ_u), selon le modèle local (D_u). On en déduit, par un calcul statistique, la valeur d'au moins un paramètre statistique de réglage choisi ($V(\lambda_u)$) (tel que : moyenne, écart type, Value at Risk, utilité, etc...) caractéristique de la distribution de probabilité ($\Psi(\lambda_u, I)$) des niveaux de rendement ($I_{uj}(t_k, \lambda_u)$, en fonction du vecteur des paramètres locaux d'action ($\lambda_u = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$).

Eventuellement, on effectue localement, au sein de chaque système local (S_u), une optimisation numérique (selon des critères prédéfinis) du (ou des) paramètre(s) statistique(s) de réglage choisi ($V(\lambda_u)$). Puis on règle le niveau du vecteur des paramètres locaux d'action ($\lambda_u = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$) de chaque système local (S_u) à une valeur optimale calculée en fonction des critères préétablis, afin notamment d'anticiper le comportement probable futur et l'efficacité de chaque système (S_u) soumis à l'environnement (E) au cours du ou des horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).

Un mode de mise en œuvre particulière de l'invention décrit figures 3 et 5 vise à rendre adaptatif pour chaque système industriel local ($S_u^{(u=1 \dots n)}$) la modélisation de l'indicateur de rendement correspondant à chaque paramètre local d'action (λ_{uh}). A cet effet, au niveau du site expert (U'), on associe à chaque paramètre local d'action ($\lambda_{uh}^{(h=1 \dots q)}$) un code générique (L_h) (ne dépendant pas du système local (S_u)). On établit pour chaque code (L_h), et on actualise régulièrement, un « évaluateur de rendement » (Π_h), c'est-à-dire un programme (matérialisé sous forme d'un fichier numérisé) permettant de calculer, en fonction du p -uplet des variables d'état ($X = (X_i^{(i=1 \dots p)})$) et du paramètre local d'action (λ_{uh}), la composante correspondante du rendement ($I_{uh} = (\Pi_h(\lambda_{uh}, X))$), de telle sorte que, pour chaque système local (S_u), ledit modèle systémique local (D_u) consiste simplement à additionner les

composantes (I_{uh}) de l'indicateur de rendement correspondant à chaque paramètre local d'action (λ_{uh}) :

$$D_u(\lambda_u, X) = \sum_{h=1}^q \Pi_h(\lambda_{uh}, X) \quad (*)$$

Le site expert (U') est relié au site centralisé émetteur par un réseau (R') et lui transmet les 5 définitions numériques adaptatives des composantes de rendement ($I_{uhj}^k = (\Pi_h(\lambda_{uh}, X_j^k))$).

Au niveau du site centralisé émetteur (U), d'une part, on génère numériquement et on émet, répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état ($X_i^{(i=1 \dots p)}$), la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-10 variations probables futur(e)s. D'autre part, à l'apparition de chaque nouveau code (L_h) ou de chaque modification de l'évaluateur de rendement (Π_h), on émet de manière centralisée la paire (L_h, Π_h) sous forme d'un fichier numérisé.

Au niveau de chaque système industriel local distant (S_u) on calcule la composante de rendement ($I_{uhj}^k = (\Pi_h(\lambda_{uh}, X_j^k))$) :

- 15 - pour chacun des m' ($m' \leq m$) horizons de temps (t_k) de la simulation retenus à l'échelon local (S_u),
 - pour chacun des $j = 1, \dots, s$ (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-états numériques possibles (X_j^k ($j = 1 \dots s$)) reçus, ou reconstitués à partir de la série des pseudo-variations (ΔX_{ij}^k),
 - et pour chacun des $h = 1, \dots, q$ paramètres locaux d'action (λ_{uh}).

20 Puis, par sommation, selon la formule ci-dessus (*) de l'indicateur de rendement (I_{uj}^k), on calcule son histogramme, puis le paramètre statistique retenu ($V(\lambda_u)$). Enfin on applique le vecteurs de paramètres locaux d'action (λ_u) qui optimise la valeur du paramètre statistique (V).

Un cas particulier du mode de mise en œuvre ci-dessus consiste en ce que les évaluateurs de 25 rendement (Π_h) soient proportionnels au paramètre local d'action (λ_{uh}) c'est-à-dire que :

$$\Pi_h(\lambda_{uh}, X) = \lambda_{uh} \pi_h(X)$$

où (π_h) est appelé « évaluateur de rendement marginal ». Dans ce cas, le modèle systémique local (D_u) revient à faire un produit scalaire entre le vecteur de paramètres locaux d'action (λ_u) et le vecteur de rendements marginaux ($\pi(X) = (\pi_h(X)^{(h=1 \dots q)})$) :

$$30 \quad D_u(\lambda_u, X) = (\lambda_u | \pi(X)) \quad (**)$$

Le calcul, au niveau du site local (S_u), du paramètre statistique ($V(\lambda_u)$) s'en trouve simplifié et son optimisation accélérée par l'enregistrement préalable, dans la mémoire de masse (H_u) du 40 calculateur local (C_u) des séries de rendements marginaux ($\pi_h(X_j^k)^{(h=1 \dots q, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$).

Une première variante particulière de mise en œuvre de l'invention est décrite également en 35 référence à la figure 4. Elle concerne le cas où, au niveau d'un site centralisé émetteur (U), on génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i), une série probabiliste variationnelle (ΔX_{ij}^k) formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-variations ($\Delta X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$) d'états futurs à partir de l'état 40 courant des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1 \dots p)}$). Cette série de pseudo-variations comprend $s \times m \times p$ valeurs numériques de pseudo-variations futures probables des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$). Elle est constituée pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$) de la simulation, de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-variations numériques possibles ($\Delta X_{ij}(t_k)^{(j=1 \dots s)}$) des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$). On diffuse de manière répétitive cette 45 « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) des pseudo-variations d'états ($\Delta X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$).

$j=1\dots s, k=1\dots m$), ce de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u). Ceci est effectué par l'émetteur (Ap) de séries de simulations probabilistes grâce à l'antenne parabolique (12) d'émission de données probabilistes et via le satellite (6). De manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), le récepteur local (Bp_u) de données probabilistes collecte de manière répétitive via l'antenne parabolique locale (16,17,18) de réception de données probabilistes, à chaque instant (t_0), et selon une fréquence déterminée, voire à chaque modification de l'une des variables (X_i), la valeur courante des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1\dots p)}$). Il collecte également ladite « smp série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) des variations d'états ($\Delta X_{i,j}(\Delta t_k)^{(i=1\dots p, j=1\dots s, k=1\dots m)}$) en fonction de l'incrément de temps Δt_k , émise par le site central (U). Ces données sont mémorisées à l'intérieur de la mémoire de masse locale (H_u). Le calculateur local (C_u) évalue localement ladite « smp série probabiliste » ($X_{i,j}^k$) de pseudo-états ($X_{i,j}(t_k)^{(i=1\dots p, j=1\dots s, k=1\dots m)}$) aux instants futurs ($t_k = (t_0 + \Delta t_k)$), correspondant à la série variationnelle par calcul numérique incrémental du type :

$$15 \quad X_{i,j}(t_k) = X_i(t_0) (1 + \Delta X_{i,j}(t_k)).$$

On peut utiliser toute autre formule (addition, exponentielle, etc...) faisant intervenir ladite « smp série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) émise par le site centralisé émetteur (U) et la valeur de l'état courant des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1\dots p)}$).

Une méthode particulière de mise en œuvre de cette première variante est celle décrite plus haut en référence à la figure 4. Au niveau du site centralisé émetteur (U), on génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs, une « smp série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) telle que décrite ci-dessus. On collecte de manière répétitive et on mémorise la valeur courante des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1\dots p)}$). On diffuse de manière répétitive et décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u), à la fois :

- la « smp série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) des pseudo-variations d'état ($\Delta X_{i,j}(t_k)^{(i=1\dots p, j=1\dots s, k=1\dots m)}$),
- et la valeur courante des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1\dots p)}$).

Une seconde variante de combinaison particulière de mise en œuvre de l'invention est décrite en référence aux figures 1 et 4. Comme cela apparaît figure 1, préalablement, et en différents points de l'environnement (E), on installe une série de r capteurs ($\gamma_h^{(h=1\dots r)}$), observateurs de l'état de l'environnement (E), émettant à chaque instant (t) un ensemble de r mesures de l'état de l'environnement ($\mu_h(t)^{(h=1\dots r)}$). Dans le cas décrit figures 1 et 4, le site émetteur (U) s'est abonné à la fourniture de données d'environnement fournies par un fournisseur (Fo) de données observables qui lui-même opère le réseau de capteurs ($\gamma_h^{(h=1\dots r)}$). Au niveau du site concepteur (U'), très distant d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1\dots n)}$), on définit préalablement un modèle numérique descriptif d'environnement (Φ), définissant l'ensemble de p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1\dots p)} = (\Phi(\mu_1(t), \dots, \mu_r(t)))$) en fonction des mesures ($\mu_h(t)^{(h=1\dots r)}$) (avec généralement $p \leq r$), en sorte que l'ensemble des variables d'environnement ($X_i(t)^{(i=1\dots p)}$) décrivent physiquement, à chaque instant d'échantillonnage (t_k), la globalité de l'état de l'environnement (E). Mais on comprendra que l'on peut également effectuer cette opération directement au niveau du site émetteur (U), ou pour le compte de celui-ci, notamment lorsque le site concepteur (U') est situé au sein du site émetteur (U). Au niveau du site centralisé émetteur (U), on collecte à distance et on mémorise les r mesures d'environnement ($\mu_h(t)^{(h=1\dots r)}$), ces r mesures constituant à chaque instant d'échantillonnage (t_k) les composantes d'un vecteur temporel de mesure d'environnement ($M(t_k) = (\mu_h(t_k)^{(h=1\dots r)})$), puis on calcule, à chaque période d'échantillonnage (t_k) successive, à l'aide du modèle numérique descriptif d'environnement (Φ) et du vecteur de mesures ($M(t)$), les p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1\dots p)} = (\Phi(\mu_1(t), \dots, \mu_r(t)))$).

L'invention recommande deux méthodes particulières de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, pour la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de systèmes industriels locaux distants (S_u).

5 La première méthode proposée par l'invention de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables consiste, en combinaison, à utiliser la méthode connue dite de Monte-Carlo. Selon cette première méthode, qui est décrite en référence à la figure 2, au niveau du site centralisé émetteur (U) on maintient et on met à jour un historique des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement global
10 commun (E) au cours du temps. On génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs, à partir :

- du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i),
- et de cet historique mémorisé des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$),

15 la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E), selon la méthode dite de « Monte-Carlo ». C'est-à-dire que l'on procède par tirages pseudo-aléatoires des pseudo-valeurs (W_{ij}^k) grâce à un générateur aléatoire (11) de nombres situé sur le site centralisé émetteur (U), voire sur le site concepteur (U'). On peut utiliser un processus :

- 20 - soit « pseudo-aléatoire » de nature ergodique,
- soit « à discrétance faible » (suites de Sobol, Hamersley, etc.),
- soit toute autre méthode produisant des nombres asymptotiquement répartis selon une distribution spécifiée (par exemple uniforme sur un intervalle).

Et on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-
25 états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u). Cette méthode de mise en œuvre est celle qui est recommandée par l'invention.

La seconde méthode proposée par l'invention de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables consiste, en combinaison, à utiliser la
30 méthode connue d'analyse historique. C'est une simplification de la méthode Monte-Carlo décrite ci-dessus. Selon cette méthode d'analyse historique, on émet la multitude d'échantillons des variations probables futures des facteurs de risque directement à partir de l'historique mémorisé. Au niveau du site centralisé émetteur (U), on maintient et on met à jour un historique des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement global
35 commun (E) au cours du temps. On génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs, à partir :

- du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i),
- et de cet historique mémorisé des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$),

40 la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E). Selon la méthode dite « historique », on reconstruit l'estimation d'états futurs probables des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) à partir de l'état courant ($X_i(t_0)^{(i=1...p)}$) et de variations historiques passées ($\Delta X_i(t)^{(i=1...p)}$) pour un ensemble de dates passées ($t' < t_0$), et en affectant à chaque état reconstruit une probabilité de
45 réalisation pouvant dépendre de l'âge de la variation historique correspondante. On diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u).

Une troisième variante de mise en œuvre de l'invention consiste à introduire des biais dans les
50 simulations stochastiques émises. Ces biais visent à prendre en compte des situations

extrêmes qui n'arrivent que rarement et/ou constituent des « scénarios catastrophes ». Selon cette méthode, on biaise la génération des « *smp* séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s émises par le site émetteur (U) en direction des multiples systèmes industriels locaux distants (S_u), ce par rapport à la statistique de l'historique des variables d'états ou des variations de variables d'état. Selon cette variante de l'invention, au niveau du site centralisé émetteur (U), on maintient et on met à jour un historique des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) de l'environnement global commun (E) au cours du temps. On génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs la « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E), à partir :

- du modèle statistique retenu ($f_a(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i),
- et de cet historique mémorisé des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$).

15 Mais on introduit volontairement dans la « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) des biais de comportement statistique joint des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) vis-à-vis de leur comportement statistique historique. Les séries biaisées émises reproduisent ainsi des « scénarios catastrophes ». Ceci permet de tenir compte de l'impact desdits scénarios catastrophes sur les systèmes distants (S_u). Et on diffuse ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée biaisée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u).

Selon une première sous-variante de la troisième variante décrite ci-dessus, l'invention recommande d'adapter sélectivement la teneur des « *smp* séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-
25 valuées biaisées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, émises par le site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u), ce en fonction de requêtes effectuées sélectivement par les différents systèmes distants (S_u). A cet effet, certains des systèmes distants (S_u) envoient au système centralisé émetteur (U) des requêtes sous forme de paramètres numériques de scénarios
30 catastrophes selon des biais spécifiques définis par eux. On génère au niveau du site centralisé (U), en fonction de ces requêtes, éventuellement en fusionnant celles qui sont identiques, des « *smp* séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, biaisées en fonction des paramètres spécifiés requis par les systèmes distants. Le site émetteur (U) envoie sélectivement vers chaque système local distant
35 (S_u), ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée biaisée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s qui correspond à sa requête. Cet envoi est effectué de manière électronique (via Internet, un réseau local, le téléphone, ou tout autre technique permettant la transmission de données numérisées).

Selon une deuxième sous-variante de la troisième variante décrite ci-dessus, l'invention
40 recommande que les systèmes distants (S_u) altèrent eux-même tout ou partie des « *smp* séries probabilistes » (W_{ij}^k) qu'ils reçoivent du site émetteur (U) pour prendre en compte des situation possibles extrêmes qui les concernent. Selon cette sous-variante, certains des systèmes distants (S_u) altèrent eux-mêmes tout ou partie des « *smp* séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s. Ceci
45 permet de construire localement des séries biaisées reproduisant des scénarios catastrophes dont les paramètres sont : soit spécifiés au niveau du système émetteur central (E) et diffusés en direction des systèmes locaux (S_u), soit définis au niveau des systèmes locaux (S_u).

Une quatrième variante de mise en œuvre préférée de l'invention consiste en ce qu'au niveau du site centralisé émetteur (U), on génère numériquement la « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k)

multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E), de manière périodique, selon une fréquence d'échantillonnage (ϕ).

Selon une cinquième variante de mise en oeuvre, l'invention recommande trois méthodes pour effectuer la transmission des « *smp* séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, du site centralisé émetteur (U) vers la multitude des sites industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$).

Une première sous-variante d'émission de données probabilistes est décrite figure 6. Au niveau du site centralisé émetteur (U), on diffuse ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par émission sous une forme « broadcast », notamment par émission radio. De manière indépendante, chacun des systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), collecte répétitivement ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times p$ valeurs numériques ($W_{ij}^k = X_{ij}^k$ ou ΔX_{ij}^k), par réception quasiment en continu de cette émission « broadcast » en provenance du site centralisé émetteur (U).

Une deuxième sous-variante d'émission de données probabilistes est décrite figure 7. Au niveau du site centralisé émetteur (U), on diffuse ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par émission sous une forme dite « PP aval », c'est-à-dire par émission sur un réseau (R) — notamment de type Internet — du site centralisé émetteur (U) à l'adresse spécifique de chacun des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$). A cet effet, on constate que le site émetteur (U) est équipé d'un modem central (20) et que chaque système industriel local distant ($S_u^{(u=1...n)}$) est équipé d'un modem local (21) par lesquels transitent les données probabilistes. De manière indépendante, chacun des systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), collecte répétitivement ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times p$ valeurs numériques ($W_{ij}^k = X_{ij}^k$ ou ΔX_{ij}^k), par enregistrement successifs dans la mémoire de masse locale (H_u) du calculateur local (C_u).

Une troisième sous-variante d'émission de données probabilistes est décrite figure 8. Au niveau du site centralisé émetteur (U), on diffuse ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u), par mise à disposition de ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée sur un serveur (Z) de données probabilistes. Celui-ci est disponible sur un réseau (R) d'émission (notamment de type Internet), ce par accès « PP » de chacun des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$). De manière indépendante, chacun des systèmes locaux (S_u) collecte répétitivement ladite « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, par accès sous une forme dite « PP amont ». C'est-à-dire qu'ils accèdent au serveur (Z) du site centralisé émetteur (U) via le réseau (R) par requête à son adresse spécifique (notamment de type Internet). Puis ils acquièrent les « *smp* séries probabilistes » par transfert (notamment de type « FTP ») via le réseau (R) et par enregistrement dans la mémoire de masse locale (H_u) de leur calculateur local (C_u).

Selon une sixième variante de mise en oeuvre, l'invention recommande trois méthodes pour organiser des « *smp* séries probabilistes » (W_{ij}^k) transmises par le site centralisé émetteur (U) vers la multitude des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$), ceci afin de compresser

le volume des données probabilistes transmises et d'accélérer leur prise en compte par la multitude des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$).

Selon une première sous-variante d'organisation de l'émission des données probabilistes, au niveau du site centralisé émetteur (U), on génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_a(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état ($X_i^{(i=1...p)}$), une « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E). Celle-ci est constituée de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-valeurs numériques des p composantes ($W_{ij}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s)}$) pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1...m)}$), sous la forme d'un « smp fichier » de $s \times m \times p$ données alpha-numériques successives. Mais, d'une part, on subdivise ce « smp fichier » en m « sous-fichiers temporels » successifs de niveau 1 regroupant les pseudo-valeurs d'un même horizon de temps ($t_k^{(k=1...m)}$). D'autre part, chacun des « sous-fichiers temporels » est constitué d'une succession de s « sous-fichiers de tirage » de niveau 2 constitués chacun d'un p -uplet de 15 pseudo-valeurs.

Selon une deuxième sous-variante d'organisation de l'émission des données probabilistes au niveau du site centralisé émetteur (U), on génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs une « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E) en séparant les m « sous-fichiers temporels » successifs de niveau 1 regroupant les pseudo-valeurs d'un même horizon de temps ($t_k^{(k=1...m)}$) par un indicateur d'horizon de temps ($\eta_k^{(k=1...m)}$) correspondant. Et, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), on distingue les uns des autres les différents dits sous-fichiers temporels d'une même « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée collectée en identifiant leurs indicateurs spécifiques d'horizon de temps ($\eta_k^{(k=1...m)}$).

Selon une troisième sous-variante d'organisation de l'émission des données probabilistes au niveau du site centralisé émetteur (U), on génère numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs les « smp séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E), en séparant les s « sous-fichiers de tirage » successifs de niveau 2 (d'un même fichier temporel) regroupant 30 chacun un p -uplet de pseudo-valeurs par un indicateur de tirage ($\tau_j^{(j=1...s)}$) correspondant. Et, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), on distingue les uns des autres les différents « sous-fichiers de tirage » successifs de niveau 2 (d'un même fichier temporel) regroupant chacun un p -uplet de pseudo-valeurs d'une même « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée collectée, en identifiant leur indicateur spécifique de tirage ($\tau_j^{(j=1...s)}$).

Selon une septième variante de mise en œuvre, l'invention recommande trois méthodes pour filtrer sélectivement le contenu des « smp séries probabilistes » (W_{ij}^k) transmises par le site centralisé émetteur (U) vers la multitude des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$). Ceci vise à adapter leur contenu aux besoins et aux particularités des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$) ainsi qu'aux liens hiérarchiques, industriels ou commerciaux entre 40 le site centralisé émetteur (U) et la multitude des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$).

Une première sous-variante de filtration de l'émission des données probabilistes est décrite figure 6. Au niveau du site centralisé émetteur (U), on diffuse dans sa globalité ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de manière décentralisée du site émetteur (U) en 45 direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par émission sous une forme « broadcast ». On peut notamment procéder par émission radio, accessible à tous les systèmes locaux (S_u). Et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), on installe et on utilise un filtre sélectif prééglé (22) de mise à disposition d'une fraction (W_{ij}^k) prédéfinie de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) collectée par réception en

provenance du site centralisé émetteur (U). Les caractéristiques de filtrage des données par ce filtre sélectif peuvent notamment être acquises par un abonnement spécifique pris par chaque système local (S_u) auprès du site émetteur (U). Elles peuvent être modifiées par téléaction à travers le réseau reliant le site centralisé émetteur (U) aux systèmes locaux (S_u).

5 Une deuxième sous-variante de filtration de l'émission des données probabilistes est décrite figure 7. Au niveau du site centralisé émetteur (U), on diffuse de manière sélective (selon une règle d'attribution prédéfinie) diverses fractions différentes ($(W_{ij}^k)_{g=1 \dots n}$) prédéfinies (notamment acquises par abonnement spécifique) de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k). Cette diffusion sélective est effectuée de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de plusieurs groupes ($G_g^{(g=1 \dots n)}$) attributifs de la multitude des systèmes locaux distants (S_u). Chaque groupe (G_g) reçoit une fraction particulière ($(W_{ij}^k)_g$). Ceci s'effectue par 10 émission sous une forme dite « PP aval », c'est-à-dire par émission sur un réseau (R) (notamment de type Internet) du site centralisé émetteur (U) à l'adresse spécifique de chacun des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$). De manière indépendante, chacun des 15 groupes ($G_g^{(g=1 \dots n)}$) attributifs de systèmes locaux (S_u) collecte répétitivement ladite fraction prédéfinie ($(W_{ij}^k)_g$) de la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k). Ils enregistrent successivement cette fraction prédéfinie ($(W_{ij}^k)_g$) dans la mémoire de masse locale (H_u) de leur calculateur local (C_u).

Une troisième sous-variante de filtration de l'émission des données probabilistes est décrite 20 figure 8. Au niveau du site centralisé émetteur (U), on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par mise à disposition de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) sur un serveur (Z) disponible sur un réseau (R) (notamment de type Internet) auquel chacun des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$) peut accéder par 25 accès « PP amont ». Mais on met de manière sélective à disposition de différents groupes ($G_g^{(g=1 \dots n)}$) de systèmes locaux (S_u) sur le serveur (Z) diverses fractions limitatives ($(W_{ij}^k)_g$) prédéfinies (notamment acquise par un abonnement spécifique) de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k). Ceci peut notamment s'opérer par l'intermédiaire d'un système d'identificateurs et de mots de passe (23) transmis par chaque système local ($S_u^{(u=1 \dots n)}$) lors 30 de son accès au serveur (Z). De manière indépendante, chacun des systèmes locaux (S_u) collecte répétitivement ladite fraction ($(W_{ij}^k)_g$) prédéfinie attribuée de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) par accès sous une forme dite « PP aval », c'est-à-dire par accès via le réseau (R) du site centralisé émetteur (U) à son adresse spécifique. Ils acquièrent par transfert ladite fraction ($(W_{ij}^k)_g$) prédéfinie attribuée de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi- 35 valée qui leur est attribuée. Ils enregistrent successivement cette fraction prédéfinie ($(W_{ij}^k)_g$) dans la mémoire de masse locale (H_u) de leur calculateur local (C_u).

Selon une huitième variante de mise en œuvre, décrite en référence à la figure 10, l'invention recommande d'effectuer une optimisation probabiliste groupée de certains groupes de systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$). Ceci se rapporte notamment au cas où les 40 systèmes industriels d'un même groupe d'optimisation ont des objectifs industriels (de production, d'économie, etc.) communs qu'il convient d'optimiser globalement. On choisit préalablement n' ($n' \leq n$) systèmes industriels locaux, retenus parmi les n dits systèmes industriels locaux (S_u). On choisit également préalablement m' ($m' \leq m$) horizons de temps, retenus parmi les m dits horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$), identiques pour tous les systèmes 45 locaux.

Au niveau de chacun des n' systèmes locaux (S_u) retenus, et pour chacun des m' horizons de temps (t_k) retenus, on applique numériquement le modèle systémique local (D_u) préalablement fixé afin de déterminer dans chacun des s scénarios ($j = 1, \dots, s$) le niveau de l'indicateur de rendement ($I_{uj}^k = D_u(\lambda_u, (X_{ij}(t_k)))$) :

- pour au moins une valeur particulière (λ_u) du vecteur des paramètres locaux d'action,
 - et pour chacun des s p -uplets simulés de variables d'état ($X_{i,j}(t_k)^{(i=1...p)}$), correspondant audit horizon de temps (t_k) retenu, de la série probabiliste de pseudo-états ($X_j(t_k)^{(j=1...s)} = (X_{i,j}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s)})$).
- 5 On détermine les s pseudo-valeurs simulées de l'indicateur de rendement ($I_{u,j}(t_k, \lambda_u) = (D_u(\lambda_u, X_j(t_k))^{(j=1...s)})$) correspondantes. On émet la « série de simulations locales » constituée des s pseudo-valeurs simulées de l'indicateur de rendement ($I_{u,j}(t_k, \lambda_u) = (D_u(\lambda_u, X_j(t_k))^{(j=1...s)})$) correspondantes du système local (S_u), de manière centralisante en direction d'un site centralisateur (B).
- 10 Au niveau du site centralisateur (B), on collecte les $s \times n'$ pseudo-valeurs simulées d'indicateurs de rendements ($I_{u,j}(t_k, \lambda_u)^{(j=1...s)}$) en provenance de chacun des n' systèmes locaux (S_u) et pour chacune des s simulations, on calcule, pour chaque simulation ($j = 1, \dots, s$), un indicateur de rendement global (J_j) de l'ensemble des systèmes locaux à partir d'un modèle d'évaluation global ($J_j = (\chi(I_{u,j}(t_k, \lambda_u))^{(u=1...n', j=1...s)})$). On regroupe et on ordonne les s valeurs
- 15 correspondantes de l'indicateur de rendement ($J_j(t_k; \lambda_1, \dots, \lambda_n)^{(j=1...s)}$) selon son niveau. On calcule et on mémorise l'histogramme (Γ) ainsi que la distribution de probabilité (en nombre ou pourcentage) ($\Psi(J)$) du niveau atteint de l'indicateur de rendement global (J) dans la configuration choisie des vecteurs de paramètres locaux d'action ($\Lambda = (\lambda_u^{(u=1...n')})$), selon les modèles locaux (D_u) et le modèle d'évaluation global (χ) retenus. On en déduit, par un calcul
- 20 statistique, la valeur d'au moins un paramètre statistique de réglage global choisi ($V(\Lambda)$) (tel que : moyenne, écart type, Value-at-Risk, utilité, etc...) caractéristique de la distribution de probabilité ($\chi(\lambda_1, \dots, \lambda_n; J)$) des niveaux de rendement globaux ($J(t_k; \lambda_1, \dots, \lambda_n)$) en fonction des valeurs du multi-vecteur ($\square = (\square_1, \dots, \square_n)$) des vecteurs de paramètres locaux d'action (\square_u).
- 25 Eventuellement on effectue globalement une optimisation numérique (selon des critères prédéfinis) du paramètre statistique de réglage global choisi ($V(\square)$) par rapport au multi-vecteur ($\square = (\square_1, \dots, \square_n)$). Et on transmet à chaque système local (S_u) le niveau correspondant de son vecteur optimisé des paramètres locaux d'action (λ_u), afin notamment d'anticiper globalement le comportement probable futur et l'efficacité de l'ensemble des
- 30 système locaux (S_u) soumis à l'environnement (E) au cours du (ou des) horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).

On décrit en référence à la figure 9 une application du procédé selon l'invention dans le domaine de l'industrie financière. Le procédé de l'invention effectue une simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de pseudo-états futurs probables de

35 variables de marché, pour la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de n (n étant très grand $\gg 1$) d'opérateurs financiers locaux ($S_u^{(u=1...n)}$). L'invention s'applique dans le cas où les opérateurs financiers locaux ($S_u^{(u=1...n)}$) sont décentralisés et très distants les uns des autres. Chaque opérateur financier local ($S_u^{(u=1...n)}$) possède un portefeuille ($P_u^{(u=1...n)}$) constitué

40 d'actifs financiers ($\theta_h^{(h=1...q)}$), dont la valeur ($I_u^{(u=1...n)}$) dépend des mouvements du marché des capitaux (E). La valeur ($I_u^{(u=1...n)}$) d'un portefeuille ($P_u^{(u=1...n)}$) peut être calculée par combinaison d'un vecteur de variables de marché ($X(t) = (X_i(t)^{(i=1...p)})$) et, pour chaque opérateur financier local distant (S_u), d'un vecteur de quantités ($\lambda_u = (\lambda_{uh}^{(h=1...q)})$) de chacun des actifs financiers ($\theta_h^{(h=1...q)}$) détenus dans son portefeuille (P_u). Les variables de

45 marché ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) sont communes aux différents opérateurs financiers locaux ($S_u^{(u=1...n)}$). Elles varient au cours du temps (t). Il est possible pour chaque opérateur financier local distant (S_u) de reconstituer avec une précision acceptable la valeur de tous les actifs financiers pouvant être présents dans son portefeuille (P_u), selon un modèle local d'évaluation (D_u), à partir du vecteur des variables de marché ($X(t) = (X_i(t)^{(i=1...p)})$). Les variables de marché

peuvent représenter des prix d'actifs ou de commodités, des taux d'intérêt ou des coefficients de courbe de taux, des volatilités ou des coefficients de surfaces de volatilité, des indicateurs de défaut d'un émetteur ou d'une contrepartie, ou encore tout autre nombre apportant une information pertinente sur l'état des marchés de capitaux.

5 Par exemple la valeur $(I_u^{(u=1...n)})$ d'un portefeuille $(P_u^{(u=1...n)})$ peut être calculée selon la combinaison linéaire :

$$I_u(t) = \sum_{h=1}^q \lambda_{uh} \pi_h(t, X(t), \theta_h) \quad (***)$$

où $\pi_h(t, X(t), \theta_h)$ représente le prix de l'actif (θ_h) à l'instant (t) selon le modèle local (D_u) lorsque le marché est dans l'état $(X(t))$, ou une autre formule pouvant faire apparaître une
10 non-linéarité par rapport aux quantités (λ_{uh}) , pour tenir compte notamment du risque de liquidité.

Selon une première sous-variante d'application du procédé selon l'invention au domaine de l'industrie financière, au niveau d'un site expert (U') , on fait préalablement le choix :

- des p variables de marché $(X_i^{(i=1...p)})$ décrivant l'ensemble du marché (E) ,
- 15 - et d'un modèle statistique du comportement joint au temps (t) et par tranches de temps $(\Delta t_k^{(k=1...m)})$ des variables de marché $(X_i(t)^{(i=1...p)})$, décrit par sa densité de distribution jointe $(f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k))$.

Le modèle statistique du comportement joint au temps (t) et par tranches de temps $(\Delta t_k^{(k=1...m)})$ des variables de marché est justifié à partir d'observations historiques — il peut s'agir
20 notamment de lois normales, log-normales, etc., ou plus généralement d'une distribution statistique jointe des p variables d'environnement $(X_i(t_k)^{(i=1...p)})$ ou de leurs variations temporelles $(\Delta X_i(t_k)^{(i=1...p)})$. Il est validé par des tests statistiques classiques adéquats (moyennes, variances, corrélations, sauts, comportements extrêmes, etc.).

Au niveau d'un site centralisé émetteur (U) , on génère numériquement, répétitivement à des
25 instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu $(f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k))$ du comportement joint dans le temps (t) des variables de marché $(X_i^{(i=1...p)})$, une « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s du marché (E) .

Selon un premier mode de mise en œuvre, cette « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) est une « smp
30 série probabiliste » (X_{ij}^k) de pseudo-états formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-états futurs $(X_{ij}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s, k=1...m)})$, comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques possibles des p variables de marché $(X_i(t)^{(i=1...p)})$. Elle est constituée :

- pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps $(t_k^{(k=1...m)})$ de la simulation,
- de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-états futurs possibles des p variables de marché
35 $(X_i(t_k)^{(i=1...p)})$.

Selon un second mode de mise en œuvre, cette « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) est une « smp
série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-variations $(\Delta X_{ij}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s, k=1...m)})$ futures à partir de l'état courant des variables de marché $(X_i(t_0)^{(i=1...p)})$, comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques de pseudo-variations
40 futures probables des p variables d'état $(X_i(t_k)^{(i=1...p)})$. Elle est constituée :

- pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps $(t_k^{(k=1...m)})$ de la simulation,
- de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-variations numériques possibles $(\Delta X_{ij}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s)})$ des p variables d'état $(X_i(t_k)^{(i=1...p)})$.

Le procédé de l'invention consiste alors, au niveau du site centralisé émetteur (U) très distant
45 de la majorité des n opérateurs financiers locaux distants $(S_u^{(u=1...n)})$, répétitivement à des instants (t_0) en ce qu'on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de

description des pseudo-états ou pseudo variations probables futur(e)s comprenant $s \times m \times p$ pseudo-valeurs numériques constituée par:

- (cas 1) ladite « smp série probabiliste » (X_{ij}^k) des pseudo-valeurs des variables de marché $(X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$,
- 5 - (cas 2) et/ou ladite « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) des pseudo-variations $(\Delta X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$.

Cette diffusion de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) est effectuée de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des opérateurs locaux distants (S_u).

- 10 De manière indépendante, au niveau de chacun des opérateurs locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), on choisit m' ($m' \leq m$) horizons de temps, retenus parmi les m dits horizons de temps $(t_k)^{(k=1 \dots m)}$. Eventuellement, dans le cas (2) où l'on reçoit uniquement ladite « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) d'échantillons variationnels $(\Delta X_{ij}(t_k))$, on calcule localement ladite « smp série probabiliste (X_{ij}^k) des pseudo-états »
- 15 constituée de pseudo-échantillons d'états futurs $(X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m')}$ correspondante, (au moins pour les m' horizons de temps (t_k) retenus). Puis, pour chacun des m' horizons de temps (t_k) retenus, on calcule numériquement, selon le modèle local d'évaluation (D_u) préalablement fixé dans chacun des s scénarios ($j = 1, \dots, s$), la valeur globale $(I_{uj}^k) = (D_u(\lambda_u, X_{ij}(t_k)))$ du portefeuille (P_u). On effectue ce calcul : pour au moins une valeur particulière du
- 20 vecteur $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ des quantités d'actifs détenus et pour chacun des s p -uplets simulés de variables d'état $(X_{ij}(t_k))$, correspondant audit horizon de temps (t_k) retenu, de la série probabiliste de pseudo-état $(X_{ij}(t_k))^{(j=1 \dots s)}$. Et on détermine les s pseudo-valeurs simulées du portefeuille $(I_{uj}(t_k, \lambda_u)) = (D_u(\lambda_u, X_j(t_k)))^{(j=1 \dots s)}$ correspondantes. On regroupe et on ordonne ces s valeurs du portefeuille (P_u). Puis on calcule et on mémorise l'histogramme (Γ_u) ainsi que la
- 25 distribution de probabilité (en nombre ou pourcentage) $(\Psi_u(I_u))$ de la valeur (I_u) du portefeuille local (P_u) dans la configuration (λ_u) , selon le modèle local (D_u). On en déduit, par un calcul statistique, la valeur d'au moins un paramètre statistique de réglage choisi $(V(\lambda_u))$ (tel que : moyenne, écart type, Value at Risk, utilité, etc...) caractéristique de la distribution de probabilité $(\Psi(\lambda_u, I))$ des valeurs $(I_u(t_k, \lambda_u))$ en fonction des variations du vecteur
- 30 $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ décrivant le portefeuille (P_u).
- Eventuellement, on effectue localement, au niveau de chaque opérateur local (S_u), une optimisation numérique (selon des critères prédéfinis) du (ou des) paramètre(s) statistique(s) de réglage choisi $(V(\lambda_u))$, et on ajuste la composition du portefeuille $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ de chaque opérateur local (S_u) à une valeur optimale calculée en fonction des critères préétablis,
- 35 afin notamment d'anticiper le comportement probable futur et le rendement de chaque portefeuille (P_u) soumis au marché (E) au cours du ou des horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).

- Selon une deuxième sous-variante d'application du procédé selon l'invention au domaine de l'industrie financière, pour évaluer la valeur (I_{uj}^k) du portefeuille (P_u) d'un opérateur financier (S_u) à la date future (t_k) selon le modèle (D_u) et dans l'état du marché simulé $(X_j(t_k))$
- 40 correspondant au scénario j , on prend en compte dans le modèle (D_u) les états de marché simulés, dans le même scénario j , aux dates ultérieures $(t_l)^{(l=k+1 \dots m)}$, selon le principe suivant :
 - on définit pour chaque actif financier $((\theta_h)^{(h=1 \dots q)})$ une quantité maximale (v_h) qu'il est possible de traiter (à l'achat ou à la vente) dans une journée,
 - si aucune des quantités (λ_{uh}) d'actifs (θ_h) détenus dans les portefeuilles (P_u) n'excède la
 - 45 valeur limite (v_h) , alors on applique la formule (***) pour évaluer, à la date (t_k) et dans la simulation (j), la valeur (I_{uj}^k) du portefeuille (P_u) :

$$I_{u,j}^k = \sum_{h=1}^q \lambda_{uh} \pi_u(t_k, X_j(t_k), \theta_h)$$

- si une des quantités (λ_{uh}) d'actifs (θ_h) détenus dans un des portefeuilles (P_u) excède en valeur absolue la valeur limite (v_h), alors on remplace la quantité (λ_{uh}) par (v_h), affectée de son signe, à la date (t_k) et on reporte le reliquat ($\lambda_{uh} \pm v_h$) sur la date suivante (t_{k+1}) en utilisant le vecteur de variables de marché ($X_j(t_{k+1})$) ;
- 5 - si cette quantité est encore supérieure à la limite (v_h) en valeur absolue, on la fixe à la valeur maximale (v_h), avec le même signe, et on reporte à nouveau le reliquat ($\lambda_{uh} \pm 2v_h$) sur la date suivante (t_{k+2}) en utilisant le vecteur de variables de marché ($X_j(t_{k+2})$), et ainsi de suite.

Cette disposition particulière permet de tenir compte du risque de liquidité imposant des contraintes de borne supérieure à la quantité de chaque actif (θ_h) que l'on est en droit de valoriser selon le modèle local (D_u) à une date donnée (t_k), et entraînant un report éventuel de la position virtuelle résultante dans chaque simulation sur des dates ultérieures.

Applications industrielles de l'invention

L'invention trouve une application industrielle dans tous les domaines tels que l'industrie manufacturière, énergétique, agroalimentaire, financière, de transport, de santé publique ou d'exploitation des matières premières, ... soumis à un environnement global commun et où il convient de mesurer et/ou de contrôler l'impact sur la production des évolutions possibles des variables d'environnement globales et locales en une multitude de sites industriels éloignés.

A titre d'exemple, on peut avantageusement appliquer les enseignements de l'invention pour l'optimisation de l'arrosage de cultures, et pour le calcul des temps de transport routier ou la gestion d'une flotte automobile.

Ainsi, une première application de l'invention concerne l'agriculture. Pour cette application, les systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$) sont les exploitations agricoles de différentes parcelles cultivées. Les variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement sont la température de l'air, la pluviométrie, l'hygrométrie, la sécheresse du sol, etc. en différents points géographiques. Les paramètres locaux d'action ($\lambda_u = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$) sont principalement les caractéristiques des parcelles et des plantations. Le but de l'invention est de limiter la surconsommation d'eau en déclenchant les différents systèmes d'arrosage automatiques uniquement lorsque la probabilité que les cultures aient à souffrir de sécheresse dans les heures ou les jours à venir est supérieure à un seuil d'acceptance défini par l'exploitant de chaque parcelle. Ainsi, les systèmes d'arrosage automatique ne se déclencheront pas si la probabilité d'une averse dans les heures à venir est forte. Inversement, il pourra par exemple se déclencher automatiquement un soir si la probabilité d'une forte sécheresse le lendemain est élevée. La mutualisation entre les exploitants de la structure de génération d'échantillons de variables météorologiques et donc des frais liés au site centralisé émetteur probabiliste (U) rend la mise en place de ce système de déclenchement d'arrosage automatique moins coûteuse.

Une seconde application de l'invention concerne l'optimisation de trajet routier. L'objectif est d'estimer la loi de probabilité du temps d'atteinte de la destination d'un automobiliste ou d'un transporteur compte tenu de l'ensemble des facteurs aléatoires extérieurs. Pour un conducteur qui doit se rendre en un point à une heure donnée, seule l'optimisation d'un critère probabiliste complexe (probabilité d'atteindre le point fixé à l'heure donnée) peut lui permettre de réellement optimiser l'itinéraire à choisir. En effet, statistiquement, il peut arriver qu'un tronçon de route soit généralement fluide, mais que lorsqu'un ralentissement survient, celui-ci reste encombré longtemps : la vision du temps de trajet moyen (espéré) est de ce fait trop réductrice. Selon l'invention, chacun des véhicules d'un réseau routier constitue alors un système industriel local distant (S_u). Ceux-ci sont soumis aux facteurs aléatoires ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) qui sont par exemple : la fluidité de la circulation sur les différents tronçons

routiers, la situation météorologique, la survenue d'une panne ou d'un accident... Les paramètres locaux d'action $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ de chaque véhicule sont la situation sur le réseau routier, l'itinéraire à venir, la vitesse du véhicule, le type de véhicule et de conduite, etc. Au niveau des différents systèmes industriels locaux, l'interface (Ω_u) de saisie des 5 paramètres $(\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ peut être reliée aux différents instruments de bord du véhicule (notamment à un système de navigation par satellite de type GPS et des capteurs du véhicule) et le récepteur (Rp_u) de données probabilistes peut être lié à un terminal Internet embarqué.

Une évolution de cette seconde application concerne la gestion d'une flotte automobile (transport en commun, transport de fret, loueur de voiture, etc.). Si chaque automobile ou 10 système roulant est équipé d'un système de localisation (par exemple de type GPS) et d'un émetteur, il est possible de connaître la répartition de toute la flotte à un instant passé ou présent. Il est aussi possible de connaître la situation « la plus probable » (l'espérance) de la position des véhicules à une date future donnée. En centralisant au niveau d'un site centralisateur (B) les pseudo-valeurs simulées des indicateurs de rendement $(I_{u,j}(t_k, \lambda_u))$, 15 l'invention permet au gestionnaire du parc d'affiner sa vision sur la probabilité des événements à venir. Ainsi, le gestionnaire du parc peut contrôler automatiquement la probabilité de la survenue d'événements peu fréquents mais lourds de conséquences (probabilité que tous les camions d'un transporteur de fret tombent en panne simultanément, probabilité pour que tous les véhicules d'un loueur de voiture se retrouvent concentrés dans 20 une région).

Une troisième application particulièrement avantageuse de l'invention concerne la maîtrise des paramètres d'unités industrielles fonctionnant sur un même réseau et soumises à un environnement global aléatoire commun. A titre d'exemple, on peut avantageusement appliquer les enseignements de l'invention au domaine de la production d'électricité, dans un 25 environnement dérégulé, où le prix de l'électricité est fixé par confrontation de l'offre de n producteurs $(S_u^{(u=1 \dots n)})$ et de la demande d'un nombre élevé de consommateurs sur un marché central (le « pool énergétique »). La rencontre de l'offre et de la demande peut se faire sur la base d'un planificateur central, indiquant à chaque producteur quels doivent être ses paramètres de fonctionnement. Une telle approche pose un double problème :

- 30 - Le planificateur central doit prendre en compte une masse considérable d'informations, non seulement des informations communes (le niveau de la demande, l'état du réseau, les prix d'énergie primaire), des informations locales interagissant fortement avec l'environnement global (le climat), mais également de multiples informations spécifiques à chaque producteur et indépendantes de l'environnement global (l'état de marche et les 35 performances de telle turbine, les problèmes de limite de rejet polluant dans telle rivière, etc ...). Selon les méthodes classiques, ce problème d'optimisation devient insoluble dans ces conditions, sauf à faire des hypothèses grossièrement simplificatrices sur les contraintes locales.
- 40 - Chaque producteur local doit s'efforcer d'être capable de répondre à la requête du planificateur central. Ignorant par définition le comportement du modèle d'optimisation central, il se trouve confronté à un aléa de type administratif (quelle requête va adresser le planificateur central ?) en sus d'un environnement global aléatoire. Cet aléa administratif est d'autant plus difficile à modéliser qu'il ne prend en compte qu'imparfaitement les contraintes opérationnelles locales. Le risque opérationnel devient alors difficile à gérer.
- 45 Dans ces conditions, l'optimum global selon les méthodes classiques devient illusoire, car il repose sur une série d'états opérationnels locaux loin d'un réel optimum.

Cette approche, prédominante dans le domaine de la production d'électricité, a été analysée par les demandeurs. Il ressort de cette étude qu'elle conduit en pratique à des situations de surcapacités industrielles et énergétiques significatives.

L'alternative classique pour délocaliser le problème d'optimisation est d'établir un marché de rencontre d'offre et de demande, avec un prix d'équilibre. La théorie économique montre que la recherche d'optimums locaux correspond, sous certaines hypothèses très générales de convexité, à un optimum global. En matière d'électricité, le problème est techniquement ardu, car l'électricité est un bien non stockable. Il y a donc autant de marchés que de périodes de l'année. Le mouvement général récent de déréglementation des marchés de l'électricité conduit aujourd'hui à plusieurs modèles d'organisation de marché, qu'il serait fastidieux de décrire ici. Mais ils se rapprochent tous plus ou moins du modèle ci-dessous.

Le « pool énergétique » est segmenté en (m) sous-marchés, correspondant à des horizons 10 temps de « préavis » distincts ($\Delta t_k^{(k=1...m)}$). A titre d'exemple, on distingue un marché très court terme (quelques minutes) destiné à maintenir la tension sur le réseau, un marché court terme (1 heure, « balancing market ») pour compenser les aléas de l'offre et de la demande, un marché « normal » à 24 heures, etc... Chaque producteur ($S_u^{(u=1...n)}$) (usine de production électrique) doit s'engager, pour chaque sous-marché, sur le respect d'une courbe de coût de 15 production ($C_{ku}(w)$), donnant un coût de production pour chaque niveau de capacité (w) offert au réseau (ce coût pouvant être infini, au-delà d'un niveau maximum de capacité). Le « pool énergétique » classe sur chacun des sous-marchés les offres de capacité par coût croissant et les confronte avec la demande sur ce sous-marché : le prix ($P_k^{(k=1...m)}$) du kilowatt-heure sur le sous-marché résulte de cette confrontation. Les producteurs dont le coût de production est 20 supérieur au prix (P_k) ne sont pas appelés par le gestionnaire du réseau. Si un producteur, suite à une indisponibilité accidentelle, constate, un temps (Δt_k) avant la livraison, son incapacité à respecter son engagement sur le sous-marché l (avec $\Delta t_k < \Delta t_l$), il doit racheter les quantités correspondantes sur le sous-marché (k) (ou tout autre sous-marché ayant un préavis plus court). Dans ce cadre d'application de l'invention, l'indicateur de rendement du producteur 25 est sa marge brute. Les paramètres de commandes (λ_u) = ($\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{um}$) d'un producteur ($S_u^{(u=1...n)}$) sont notamment :

- l'allocation de sa capacité disponible (Cap_u) entre les m sous-marchés et un $m+1$ -ième sous-marché spécifique qu'est l'entretien programmé de la centrale.
- le choix de l'énergie primaire à utiliser, lorsqu'il a cette faculté (gaz / charbon, fuel / 30 charbon par exemple).

Le choix des paramètres est soumis à des contraintes opérationnelles locales tel que le temps et le coût minimum de démarrage d'une unité ou de changement de type de combustible, les minima et maxima techniques, les limites de rejets polluants dans l'air et dans l'eau, etc. Le problème d'optimisation local est complexe, dans la mesure où il fait appel à la prévision sur 35 la base de variables aléatoires relevant non seulement d'un environnement spécifique à l'installation (disponibilité des installations de production), mais aussi d'un environnement global commun à tous les producteurs, comprenant :

- le climat, et notamment la température pour une centrale thermique (affectant le rendement thermodynamique de la centrale), la pluviométrie pour une centrale 40 hydraulique (affectant débit et réserves)...
- les prix sur les m sous-marchés d'électricité,
- les prix des combustibles utilisés par le producteur, etc.

Cet environnement global est bien commun à l'ensemble des producteurs : les prix sont les mêmes pour tous et les variables climatiques sont non seulement fortement corrélées entre les 45 différents sites mais interagissent de surcroît avec les prix (on conçoit par exemple qu'une journée très froide prévue à 24 heures se traduise par une envolée du prix de l'électricité sur le marché à 24 heures).

Le problème d'optimisation global par un planificateur central est remplacé par n problèmes d'optimisation locaux, afin par exemple de maximiser l'espérance de marge brute et de 50 garantir à $x\%$ la marge brute minimale pour supporter la charge de la dette (typiquement un

calcul de Value-at-Risk), ceci impliquant des calculs complexes. Selon l'art antérieur, les solutions possibles sont les trois suivantes :

- Chaque producteur contracte, après mise en concurrence, avec un organisme (« asset manager ») disposant des outils d'analyse de l'environnement global, qui dictera le choix des paramètres en contrepartie d'une garantie d'une marge brute pré-déterminée (« tolling agreement »). Cette solution permet d'éliminer par mise en concurrence une éventuelle inefficacité d'un planificateur central, mais pose fondamentalement le même type de problèmes : les accords de ce type ne peuvent jamais parfaitement prendre en compte les contraintes opérationnelles locales. Elle conduit par ailleurs à communiquer à « l'asset manager » des informations confidentielles sur les contraintes de fonctionnement du site.
- Chaque producteur effectue son optimisation sur la base d'une modélisation analytique de l'environnement global et de son impact sur son équation de rendement. Ceci se fait au prix de fortes hypothèses simplificatrices qui, lorsqu'elles ne sont pas respectées, conduisent à des situations de crise (pertes très élevées pour le producteur, déficit de production globale, etc ...).
- Chaque producteur simule tous les états possibles de l'environnement (global et spécifique pour chacun des horizons de temps) correspondant aux sous-marchés d'électricité. Il calcule sa marge brute pour chaque état et chaque trajectoire de paramètres, et sélectionne le vecteur de paramètres optimisant le couple « Espérance / VaR » sur sa marge brute. La simulation des états possibles de l'environnement global implique la mise en œuvre de calculs complexes, mobilisant des moyens informatiques et des compétences coûteux, à l'évidence dupliqués entre les différents producteurs.

La mise en œuvre des enseignements de l'invention permet à chaque producteur d'électricité de choisir la troisième approche, c'est-à-dire la seule permettant de faire une recherche précise de l'optimum local, tout en mutualisant la partie complexe des calculs. Selon l'invention :

- Il collecte répétitivement (avec une fréquence correspondant à la fréquence de cotation des prix sur le pool) ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états probables futurs à $s \times m \times p$ valeurs numériques ($W_{ij}^k = X_{ij}^k$ global) qui lui est fournie par le centralisé émetteur (U).
- Pour chaque « smp série probabiliste », et pour chaque vecteur possible de paramètres de commandes, il tire une fonction aléatoire de défaut reflétant la probabilité de défaillance technique de l'installation. Il en déduit pour chaque état et chaque vecteur de paramètre de commande une marge brute ($MB_u(W_{ij}^k, \lambda_u)$), calculée par une fonction arithmétique simple.
- Il en déduit par un tri simple classant pour chaque vecteur (λ_u) les tirages de sa marge brute (MB_u), une fonction $VaR_u(\lambda_u)$ et une fonction espérance de marge brute $Emb_u(\lambda_u)$.

Le problème d'optimisation complexe en environnement aléatoire est ramené pour une centrale ($S_u^{(u=1...n)}$) à un problème d'optimisation simple : rechercher le maximum de $Emb_u(\lambda_u)$ sous la contrainte $VaR_u(\lambda_u) < V_{max}$.

Avantages de l'invention

L'invention permet de minimiser les moyens informatiques et humains nécessaires à la mise en œuvre de simulations probabilistes sur un ensemble de sites industriels distants soumis à un environnement aléatoire commun et vue d'aboutir notamment à :

- une optimisation de la production en respectant des contraintes réglementaires,
- une optimisation des coûts de la production en contrôlant la survenue d'événements défavorables,
- un contrôle et une minimisation de la survenue d'événements rares défavorables.

Un autre avantage de l'invention est de simplifier le calcul du risque global d'un groupe de systèmes industriels locaux distants.

Un troisième avantage de l'invention est de permettre des calculs de simulation statistique locaux au niveau d'une multitude de sites industriels à partir de tirages aléatoires mutualisés sans qu'aucun des systèmes locaux n'ait à transmettre d'informations au site centralisé émetteur sur sa situation ou le réglage de ses paramètres industriels. Ceci permet d'assurer une meilleure confidentialité industrielle et commerciale.

En outre, l'exemple d'application dans le domaine de l'énergie électrique donné ci-dessus permet de constater les avantages suivants pour un des producteurs industriels :

- 10 - Le producteur peut se rapprocher de l'optimum local, en mettant en œuvre simplement et avec peu de moyens locaux, les techniques d'optimisation les plus sophistiquées. Ceci se traduira par un temps de retour plus rapide sur investissement ou par une baisse des prix au profit des consommateurs.
- Il n'a pas besoin d'investir dans de coûteux moyens de modélisation et de simulation de l'environnement global. Il peut se concentrer sur la simulation des paramètres spécifiques locaux, indépendants de l'environnement global.
- 15 - Il n'a pas besoin de communiquer à un organisme central ses paramètres de fonctionnement. Dans un environnement concurrentiel, il peut donc préserver la confidentialité de sa stratégie.

20

L'invention ayant maintenant été décrite, et son intérêt justifié sur des exemples détaillés, les demandeurs s'en réservent l'exclusivité pendant toute la durée du brevet, sans limitation autre que celle des termes des revendications ci-après.

25

- 1) Procédé de simulation stochastique répétitive hiérarchisée et mutualisée par échantillonnage de scénarios probables, pour la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$) :
- très distants les uns des autres,
 - soumis à un environnement global commun (E) évolutif, pouvant être décrit numériquement par p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$), constituant les composantes d'un vecteur d'état ($X(t) = (X_i(t)^{(i=1...p)})$),
- 10 □ et dont l'efficacité de chaque système local ($S_u^{(u=1...n)}$) peut en outre être décrite par un indicateur numérique de rendement ($I_u^{(u=1...n)}$), selon un modèle numérique systémique local paramétré (D_u) préalablement établi ($I_u = (D_u(\lambda_u, X(t)))$), dépendant pour chacun des systèmes (S_u) et à chaque instant (t) :
- ◆ de tout ou partie des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) du vecteur d'état ($X(t)$),
- 15 ◆ et d'un vecteur de q paramètres (réglables) locaux d'action ($\lambda_u = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$); ce procédé étant caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau d'un site centralisé émetteur (U), très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$) :
- 20 ◆ on génère répétitivement de manière centralisée à des instants (t_0) successifs une « smp série de simulations probabilistes » (W_{ij}^k ($i=1...p, j=1...s, k=1...m$)) multi-valuée de description des variables ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement (E) constitué :
- a. soit de pseudo-états probables futurs des variables ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement (E),
 - 25 b. soit de pseudo-variations probables futures de ces variables ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement (E),
- communs à la multitude des n (n étant très grand $\gg 1$) systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$) décentralisés, et simulés à un (ou plusieurs m , avec $m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1...m)} > t_0$),
- 30 ◆ et on télétransmet répétitivement cette « smp série de simulations probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s des variables de l'environnement, ce de manière répartie décentralisée :
- du site émetteur (U),
 - 35 • en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u);
- et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), répétitivement :
- ◆ on collecte ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s,
 - 40 ◆ on effectue un traitement numérique statistique local spécifique sur ladite série probabiliste (W_{ij}^k) reçue pour prédire le comportement futur probabiliste des systèmes industriels locaux (S_u),
 - ◆ et (éventuellement) on règle le niveau du vecteur des paramètres locaux d'action ($\lambda_u = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$) de chaque système local (S_u) à une valeur optimale calculée en fonction des critères préétablis, afin notamment d'anticiper le comportement probable futur et l'efficacité de chaque système (S_u) soumis à l'environnement (E)
 - 45 au cours du ou des horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).
- 2) Procédé selon la revendication 1 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables pour la prédiction probabiliste du comportement futur

et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de systèmes industriels locaux distants (S_u), ce procédé étant du type spécifique consistant :

- au niveau d'un site expert (U'), très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$), à faire préalablement le choix :
 - ♦ des p variables d'environnement ($X_i^{(i=1...p)}$) de l'environnement (E),
 - ♦ et d'un modèle statistique du comportement joint au temps (t) et par tranches de temps ($\Delta t_k^{(k=1...m)}$) des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$), décrit par sa densité de distribution jointe ($f(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k)$) :
 - justifié à partir d'observations historiques — il peut s'agir notamment de lois normales, log-normales, etc., ou plus généralement d'une distribution statistique jointe des p variables d'environnement ($X_i(t_k)^{(i=1...p)}$) ou de leurs variations temporelles ($\Delta X_i(t_k)^{(i=1...p)}$)
 - et validé par des tests statistiques classiques adéquats (moyennes, variances, corrélations, sauts, comportements extrêmes, ...),
 - au niveau d'un site centralisé émetteur (U), très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$) :
 - ♦ à générer numériquement répétitivement à des instants t_0 successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i), une « smp série probabiliste » ($W_{i,j}^k$ ($i=1...p, j=1...s, k=1...m$)) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E) constituée :
 - cas 1 : d'une « smp série probabiliste » ($X_{i,j}^k$) de pseudo-états formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-états futurs ($X_{i,j}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s, k=1...m)}$), comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques possibles des pseudo-états futurs probables des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) et constituées :
 - pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1...m)}$) de la simulation,
 - de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-états futurs possibles ($X_{i,j}(t_k)^{(j=1...s)}$) de chacune des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1...p)}$),
 - cas 2 : et/ou éventuellement, d'une « smp série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-variations ($\Delta X_{i,j}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s, k=1...m)}$) futures à partir de la valeur courante des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1...p)}$), comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques de pseudo-variations futures probables des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1...p)}$) et constituées :
 - pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1...m)}$) de la simulation,
 - de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-variations numériques futures possibles ($\Delta X_{i,j}(t_k)^{(j=1...s)}$) de chacune des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1...p)}$),
- le procédé étant caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau du site centralisé émetteur (U) très distant de la majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$), répétitivement à des instants (t_0) :
 - ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, comprenant $s \times m \times p$ pseudo-valeurs numériques constituée par :
 - a. (cas 1) ladite « smp série probabiliste » ($X_{i,j}^k$) des pseudo-valeurs des variables d'état ($X_{i,j}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s, k=1...m)}$),
 - b. (cas 2) et/ou ladite « smp série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) des pseudo-variations ($\Delta X_{i,j}(t_k)^{(i=1...p, j=1...s, k=1...m)}$),
- ce de manière décentralisée
- du site émetteur (U),

- en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u);
 - et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), répétitivement :
 - ♦ on collecte ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times p$ valeurs numériques ($W_{ij}^k = X_{ij}^k$ ou ΔX_{ij}^k),
 - ♦ on choisit m' ($m' \leq m$) horizons de temps, retenus parmi les m dits horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$),
 - ♦ éventuellement, dans le cas (2) où l'on reçoit uniquement ladite « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) d'échantillons variationnels ($\Delta X_{ij}(t_k)$), on calcule localement ladite « smp série probabiliste » (X_{ij}^k) des pseudo-états constituée de pseudo-échantillons d'états futurs ($X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$) correspondante (au moins pour les m' horizons de temps (t_k) retenus),
 - ♦ pour chacun des m' horizons de temps (t_k) retenus :
 - on applique numériquement le modèle systémique local (D_u) préalablement fixé afin de déterminer dans chacun des s scénarios $j = 1, \dots, s$ l'indicateur de rendement :

$$I_{uj}^k = D_u(\lambda_u, X_j(t_k))$$
 - pour au moins une valeur particulière (λ_u)_o = ($\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq}$) du vecteur (λ_u) des paramètres locaux d'action,
 - et pour chacun des s p -uplets simulés de variables d'état ($X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p)}$), correspondant audit horizon de temps (t_k) retenu, de la série probabiliste de pseudo-état ($X_{ij}(t_k)^{(j=1 \dots s)}$), et on détermine les s pseudo-valeurs simulées de l'indicateur de rendement ($I_{uj}(t_k, \lambda_u) = (D_u(\lambda_u, X_j(t_k))^{(j=1 \dots s)}$) correspondantes,
 - on regroupe et on ordonne les s valeurs correspondantes de l'indicateur de rendement ($I_{uj}(t_k, \lambda_u)^{(j=1 \dots s)}$), selon le niveau de rendement (I_{uj}),
 - on calcule et on mémorise l'histogramme (Γ_u) ainsi que la distribution de probabilité (en nombre ou pourcentage) ($\Psi_u(I_u)$) du niveau atteint de l'indicateur de rendement local (I_u) dans la configuration (λ_u), selon le modèle local (D_u),
 - on en déduit par un calcul statistique la valeur d'au moins un paramètre statistique de réglage choisi ($V(\lambda_u)$) (tel que : moyenne, écart type, Value-at-Risk, utilité, etc...) caractéristique :
 - de la distribution de probabilité ($\Psi(\lambda_u, I)$) des niveaux de rendement ($I_u(t_k, \lambda_u)$),
 - en fonction des variations du vecteur des paramètres locaux d'action (λ_u) = ($\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq}$),
 - ♦ (éventuellement) on effectue localement, au sein de chaque système local (S_u), une optimisation numérique (selon des critères prédéfinis) du (ou des) paramètre(s) statistique(s) de réglage choisi ($V(\lambda_u)$), et on règle le niveau du vecteur des paramètres locaux d'action (λ_u) = ($\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq}$) de chaque système local (S_u) à une valeur optimale calculée en fonction des critères précétablis, afin notamment d'anticiper le comportement probable futur et l'efficacité de chaque système (S_u) soumis à l'environnement (E) au cours du ou des horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).
- 45 3) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau du site expert (U'),
 - ♦ on associe à chaque paramètre local d'action ($\lambda_{uh}^{(h=1 \dots q)}$) un code générique (L_h) (ne dépendant pas du système local (S_u)),

- ♦ on établit pour chaque code (L_h), et on actualise régulièrement, un « évaluateur de rendement » (Π_h), c'est-à-dire un programme (matérialisé sous forme d'un fichier numérisé) permettant de calculer, en fonction du p -uplet des variables d'état (X) = ($X_i^{(i=1 \dots p)}$) et du paramètre local d'action (λ_{uh}), la composante correspondante du rendement (I_{uh}) = ($\Pi_h(\lambda_{uh}, X)$),
- ♦ de telle sorte que, pour chaque système local (S_u), ledit modèle systémique local (D_u) consiste simplement à additionner les composantes (I_{uh}) de l'indicateur de rendement correspondant à chaque paramètre local d'action (λ_{uh}) :

$$D_u(\lambda_u, X) = \sum_{h=1}^q \Pi_h(\lambda_{uh}, X) \quad (*)$$

- 10 □ au niveau d'un site centralisé émetteur (U):
- ♦ on génère numériquement et on émet, répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i), la « *simp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(c)s,
- 15 ♦ et on émet, à l'apparition de chaque nouveau code (L_h) ou de chaque modification de l'évaluateur de rendement (Π_h), la paire (L_h, Π_h) sous forme d'un fichier numérisé,
- au niveau de chaque système industriel local distant (S_u):
- ♦ on calcule :
- 20 • pour chacun des m' ($m' \leq m$) horizons de temps (t_k) de la simulation retenus à l'échelon local (S_u),
- pour chacun des $j = 1, \dots, s$ (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-états numériques possibles ($X_j^{k(j=1 \dots s)}$) reçus, ou reconstitués à partir de la série des pseudo-variations (ΔX_{ij}^k),
- 25 • pour chacun des $h = 1, \dots, q$ paramètres locaux d'action (λ_{uh}),
- la composante de rendement (I_{uhj}^k) = ($\Pi_h(\lambda_{uh}, X_j^k)$),
- puis, par sommation, selon la formule (*), l'indicateur de rendement (I_{uj}^k),
- le paramètre statistique retenu ($V(\lambda_u)$),
- ♦ on applique le vecteur de paramètres locaux d'action (λ_u) qui optimise la valeur du paramètre statistique (V).
- 30

4) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

- au niveau du site expert (U'),
- 35 ♦ on associe à chaque paramètre local d'action ($\lambda_{uh}^{(h=1 \dots q)}$) un code générique (L_h) (ne dépendant pas du système local (S_u)),
- ♦ on établit pour chaque code (L_h), et on actualise régulièrement, un « évaluateur de rendement marginal » (π_h), c'est-à-dire un programme (matérialisé sous forme d'un fichier numérisé) permettant de calculer, en fonction du p -uplet des variables d'état (X) = ($X_i^{(i=1 \dots p)}$), la composante correspondante du rendement marginal (I'_{uh}) = ($\pi_h(X)$),
- 40 ♦ de telle sorte que, pour chaque système local (S_u), ledit modèle systémique local (D_u) consiste simplement à effectuer un produit scalaire entre le vecteur de paramètre locaux d'action (λ_u) = ($\lambda_{uh}^{(h=1 \dots q)}$) et le vecteur des rendements marginaux (I') :

$$D_u(\lambda_u) = (\lambda_u | I') \quad (**)$$

- au niveau d'un site centralisé émetteur (U):
- ♦ on génère numériquement et on émet, répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le

- temps (t) des variables d'état (X_i), la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s,
- ♦ et on émet, à l'apparition de chaque nouveau code (L_h) ou de chaque modification de l'évaluateur de rendement (π_h), la paire (L_h, π_h) sous forme d'un fichier numérisé,
 - 5 ♦ et on calcule :
 - pour chacun des m horizons de temps (t_k),
 - pour chacun des $j = 1, \dots, s$ (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-états numériques possibles ($X_j^{k \text{ } j=1 \dots s}$),
 - pour chacun des $h = 1, \dots, q$ paramètres locaux d'action (λ_{uh}),
 - 10 • la composante de rendement marginal ($I'_{hj}^k = (\pi_h(X_j^k))$),
 - ♦ et on diffuse la « smq série probabiliste » (W'_{hj}^k) multi-valuée de description des pseudo-états (I'_{hj}^k) ou pseudo-variations probables futur(e)s ($\Delta I'_{hj}^k$),
 - au niveau de chaque système industriel local distant (S_u) :
 - ♦ on collecte la « smq série probabiliste » (W'_{hj}^k) multi-valuée de description des pseudo-états (I'_{hj}^k) ou pseudo-variations probables futur(e)s ($\Delta I'_{hj}^k$)
 - 15 ♦ puis, par sommation, selon la formule (**), on en déduit la série des indicateurs de rendement (I_{uj}^k) et le paramètre statistique retenu ($V(\lambda_u)$),
 - ♦ on calcule, puis on applique le vecteur de paramètres locaux d'action (λ_u) qui optimise la valeur du paramètre statistique (V).
- 20 5) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau d'un site centralisé émetteur (U):
 - ♦ on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps
 - 25 (t) des variables d'état ($X_i^{(i=1 \dots p)}$), une série probabiliste variationnelle (ΔX_{ij}^k) formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-variations ($\Delta X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$) d'états futurs à partir de l'état courant des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1 \dots p)}$), comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques de pseudo-variations futures probables des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$) et constituées:
 - 30 • pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$) de la simulation,
 - de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-variations numériques possibles ($\Delta X_{ij}(t_k)^{(j=1 \dots s)}$) des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$),
 - ♦ on diffuse de manière répétitive ladite « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) des pseudo-variations d'états ($\Delta X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$), ce de manière
 - 35 décentralisée :
 - du site émetteur (U),
 - en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u),
 - et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u) :
 - ♦ on collecte et on mémorise de manière répétitive à chaque instant (t_0), selon une
 - 40 fréquence déterminée, voire à chaque modification de l'une des variables (X_i), la valeur courante des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1 \dots p)}$),
 - ♦ on collecte ladite « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) des variations d'états ($\Delta X_{ij}(\Delta t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$) en fonction de l'incrément de temps Δt_k , émise par le site central (U),
 - 45 ♦ on calcule localement ladite « smp série probabiliste » (X_{ij}^k) de pseudo-états ($X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$) aux instants futurs ($t_k = (t_0 + \Delta t_k)$), correspondant à la série variationnelle par calcul numérique incrémental du type :
- $X_{ij}(t_k) = X_i(t_0) (1 + \Delta X_{ij}(t_k))$
ou toute autre formule (addition, exponentielle, etc...) faisant intervenir :

- ladite « *smp* série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) émise par le site centralisé émetteur (U),
 - et la valeur courante des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$).
- 6) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par 5 échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau du site centralisé émetteur (U):
 - ♦ on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_{\alpha}(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i), une « *smp* série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-variations ($\Delta X_{i,j}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$) d'états futurs à partir de l'état courant des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1 \dots p)}$), comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques de pseudo-variations futures probables des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$) et constituées :
 - pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$) de la simulation,
 - de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-variations numériques possibles ($\Delta X_{i,j}(t_k)^{(j=1 \dots s)}$) des p variables d'état ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$),
 - ♦ on collecte de manière répétitive et on mémorise la valeur de l'état courant des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1 \dots p)}$),
 - ♦ on diffuse de manière répétitive et décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u), à la fois :
 - la « *smp* série probabiliste variationnelle » ($\Delta X_{i,j}^k$) des pseudo-variations ($\Delta X_{i,j}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$),
 - et la valeur courante des variables d'état ($X_i(t_0)^{(i=1 \dots p)}$).
- 7) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par 25 échantillonnage de scénarios probables caractérisé en ce qu'en combinaison :
- préalablement, et en différents points de l'environnement (E), on installe une série de r capteurs ($\gamma_h^{(h=1 \dots r)}$) observateurs de l'état d'environnement (E), émettant à chaque instant (t), r mesures de l'état de l'environnement ($\mu_h(t)^{(h=1 \dots r)}$),
 - au niveau du site concepteur (U'), on définit préalablement un modèle numérique descriptif d'environnement (Φ), définissant l'ensemble de p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)} = (\Phi(\mu_1(t), \dots, \mu_r(t)))$) en fonction des mesures ($\mu_h(t)^{(h=1 \dots r)}$) (avec généralement $p \leq r$), en sorte que l'ensemble des variables d'environnement ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) décrivent physiquement avec une précision acceptable, à chaque instant d'échantillonnage (t_k), la globalité de l'état de l'environnement (E),
 - au niveau du site centralisé émetteur (U):
 - ♦ on collecte à distance et on mémorise les r mesures d'environnement ($\mu_h(t)^{(h=1 \dots r)}$), ces r mesures constituant à chaque instant d'échantillonnage (t_k) les composantes d'un vecteur temporel de mesure d'environnement ($M(t_k) = (\mu_h(t_k)^{(h=1 \dots r)})$),
 - ♦ et on calcule, à chaque période d'échantillonnage (t_k) successive, à l'aide du modèle numérique descriptif d'environnement (Φ) et du vecteur de mesures ($M(t)$), les p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)} = (\Phi(\mu_1(t), \dots, \mu_r(t)))$).
- 8) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau du site centralisé émetteur (U):
 - ♦ on maintient et on met à jour un historique des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) de l'environnement global commun (E) au cours du temps.
 - ♦ on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir :

- du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état ($X_i^{(i=1 \dots p)}$),
 - et de cet historique mémorisé des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$), la « smp série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E),
 - 5 ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u).
- 10 9) Procédé selon la revendication 8 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau du site centralisé émetteur (U) :
 - ♦ on maintient et on met à jour un historique des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) de l'environnement global commun (E) au cours du temps,
 - 15 ♦ on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir :
 - du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état ($X_i^{(i=1 \dots p)}$),
 - et de cet historique mémorisé des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$), la « smp série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E), selon la méthode dite de « Monte-Carlo », par tirages pseudo-aléatoires des pseudo-valeurs ($W_{i,j}^k$) grâce à un générateur de nombres situé sur le site centralisé émetteur (U), voire sur le site concepteur (U'), reposant sur une méthode :
 - 25 • soit « pseudo-aléatoire » de nature ergodique,
 - soit « à discrédance faible » (suites de Sobol, Hamersley, etc.),
 - soit sur toute autre méthode produisant des nombres asymptotiquement répartis selon une distribution spécifiée (par exemple uniforme sur un intervalle),
 - ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u).

10) Procédé selon la revendication 8 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

 - au niveau du site centralisé émetteur (U):
 - 35 ♦ on maintient et on met à jour un historique des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) de l'environnement global commun (E) au cours du temps,
 - ♦ on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir :
 - du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état ($X_i^{(i=1 \dots p)}$),
 - 40 • et de cet historique mémorisé des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$), la « smp série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E), selon la méthode dite « Historique » d'estimation d'états futurs probables des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$) reconstruits à partir de l'état courant ($X_i(t_0)^{(i=1 \dots p)}$) et de variations historiques passées ($\Delta X_{i,j}(t')^{(i=1 \dots p, j=1 \dots p)}$) pour un ensemble de dates passées ($t'_1, \dots, t'_p < t_0$), ce en affectant à chaque état reconstruit une probabilité de réalisation pouvant dépendre de l'âge de la variation historique correspondante,
 - 45 ♦ et on diffuse ladite « smp série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du

site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u).

11) Procédé selon la revendication 8 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

5 ☐ au niveau du site centralisé émetteur (U) :

♦ on maintient et on met à jour un historique des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) de l'environnement global commun (E) au cours du temps,

♦ on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E), à partir :

10 • du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état (X_i),

• et de cet historique mémorisé des valeurs des p variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$),

15 • mais en introduisant volontairement dans la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) des biais de comportement statistique joint des variables d'état ($X_i(t)^{(i=1...p)}$) vis-à-vis de leur comportement statistique historique,

les séries biaisées reproduisant ainsi des « scénarios catastrophes », afin de tenir compte de l'impact desdits scénarios catastrophes sur les systèmes distants (S_u),

20 ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée biaisée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u).

12) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

25 ☐ certains des systèmes distants (S_u) envoient au système central (U) des requêtes sous forme de paramètres de scénarios catastrophes selon des biais spécifiques définis par eux,

☐ au niveau du système central :

30 ♦ on génère en fonction de ces requêtes, éventuellement en fusionnant celles qui sont identiques, des « smp séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, biaisées en fonction des paramètres spécifiés par les systèmes distants,

35 ♦ et on envoie du site émetteur (U) vers chaque système local distant (S_u) ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée biaisée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s qui correspond à sa requête.

13) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

40 ☐ chaque système distant (S_u) altère lui-même tout ou partie des « smp séries probabilistes » (W_{ij}^k) multi-valuées de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, de façon à en faire des séries biaisées reproduisant des scénarios catastrophes dont les paramètres sont :

♦ soit spécifiés au niveau du système central (U) et diffusés en direction des systèmes locaux (S_u),

♦ soit définis au niveau des systèmes locaux (S_u).

45 14) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

☐ au niveau du site centralisé émetteur (U) on génère numériquement la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations

probables futur(e)s de l'environnement (E) de manière périodique, selon une fréquence d'échantillonnage (φ).

15) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

5 □ au niveau du site centralisé émetteur (U):

 ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par émission sous une forme « broadcast », notamment par émission

10 radio,

 □ et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), répétitivement :

 ♦ on collecte ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times p$ valeurs numériques ($W_{ij}^k = X_{ij}^k$ ou ΔX_{ij}^k), par réception quasiment en continu de cette émission « broadcast » en provenance du site centralisé émetteur (U).

15

16) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

 □ au niveau du site centralisé émetteur (U):

20 ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par émission sous une forme dite « PP aval », c'est-à-dire par émission sur un réseau (R) (notamment de type Internet) du site centralisé émetteur (U) à l'adresse spécifique de chacun des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$),

25

 □ et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), répétitivement :

 ♦ on collecte, ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times p$ valeurs numériques ($W_{ij}^k = X_{ij}^k$ ou ΔX_{ij}^k), par enregistrement successifs dans la mémoire (H_u) de l'ordinateur local (C_u).

30

17) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

 □ au niveau du site centralisé émetteur (U):

35 ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par mise à disposition de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée sur un serveur (Z) disponible

40

 ◦ sur un réseau (R) (notamment de type Internet),

 ◦ par accès « PP » par chacun des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$),

 □ et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u) répétitivement :

 ♦ on collecte ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times p$ valeurs numériques ($W_{ij}^k = X_{ij}^k$ ou ΔX_{ij}^k), par accès sous une forme dite « PP amont », c'est-à-dire par accès via le réseau (R) (notamment de type Internet) au site centralisé émetteur (U) à son adresse spécifique, par acquisition par transfert (notamment de type « FTP ») de

45

ladite « *smp* série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée et par enregistrement dans la mémoire (H_u) de l'ordinateur local (C_u).

18) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

- 5 ☐ au niveau du site centralisé émetteur (U), on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_a(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables d'état ($X_i^{(i=1 \dots p)}$), une « *smp* série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E) constituée de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-valeurs numériques des p composantes ($S_{i,j}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s)}$) pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$), sous la forme d'un fichier de $s \times m \times p$ données alpha-numériques successives subdivisé :
 - ♦ en m « sous-fichiers temporels » successifs de niveau 1 regroupant les pseudo-valeurs d'un même horizon de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$),
 - 15 ♦ chaque « sous-fichier temporel » incluant une succession de s « sous-fichiers de tirage » de niveau 2 constitués chacun d'un p -uplet de pseudo-valeurs.

19) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

- 20 ☐ au niveau du site centralisé émetteur (U), on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, une « *smp* série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E) en séparant les m « sous-fichiers temporels » successifs de niveau 1 regroupant les pseudo-valeurs d'un même horizon de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$) par un indicateur d'horizon de temps ($\eta_k^{(k=1 \dots m)}$) correspondant,
- 25 ☐ et, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), on distingue les uns des autres les différents dits sous-fichiers temporels d'une même « *smp* série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée collectée en identifiant leurs indicateurs spécifiques d'horizon de temps ($\eta_k^{(k=1 \dots m)}$).

20) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

- 30 ☐ au niveau du site centralisé émetteur (U), on génère numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, une « *smp* série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de l'environnement (E) en séparant les s « sous-fichiers de tirage » successifs de niveau 2 (d'un même fichier temporel) regroupant chacun un p -uplet de pseudo-valeurs par un indicateur de tirage ($\tau_j^{(j=1 \dots s)}$) correspondant,
- 35 ☐ et, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), on distingue les uns des autres les différents « sous-fichiers de tirage » successifs de niveau 2 (d'un même fichier temporel) regroupant chacun un p -uplet de pseudo-valeurs d'une même « *smp* série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée collectée en identifiant leur indicateur spécifique de tirage ($\tau_j^{(j=1 \dots s)}$).
- 40

21) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

- ☐ au niveau du site centralisé émetteur (U):
- 45 ♦ on diffuse dans sa globalité ladite « *smp* série probabiliste » ($W_{i,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par émission sous une forme « broadcast », notamment par émission radio, accessible à tous les systèmes locaux (S_u),

- ♦ et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), on installe et on utilise un filtre sélectif prééglé de mise à disposition d'une fraction $(W_{ij}^k)'$ prédéfinie (notamment acquise par un abonnement spécifique) de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s, collectée par réception en provenance du site centralisé émetteur (U).

22) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

- au niveau du site centralisé émetteur (U), on diffuse de manière sélective (selon une règle d'attribution prédéfinie) :
 - ♦ diverses fractions différentes $((W_{ij}^k)_g^{(g=1...h)})$ prédéfinies (notamment acquises par un abonnement spécifique) de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s,
 - ♦ de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de plusieurs groupes $(G_g^{(g=1...h)})$ attributifs de la multitude des systèmes locaux distants (S_u), chaque groupe (G_g) recevant une fraction particulière $((W_{ij}^k)_g)$,
 - ♦ par émission sous une forme dite « PP aval », c'est-à-dire par émission sur un réseau (R) (notamment de type Internet) du site centralisé émetteur (U) à l'adresse spécifique de chacun des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$).
- et, de manière indépendante, au niveau de chacun des groupes $(G_g^{(g=1...h)})$ attributifs de systèmes locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), répétitivement :
 - ♦ on collecte ladite fraction prédéfinie $((W_{ij}^k)_g)$ de la « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s par enregistrements successifs dans la mémoire (H_u) de l'ordinateur local (C_u).

23) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

- au niveau du site centralisé émetteur (U) :
 - ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s de manière décentralisée du site émetteur (U) en direction de l'ensemble de la multitude des systèmes locaux distants (S_u) par mise à disposition de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée sur un serveur (Z) disponible sur un réseau (R) (notamment de type Internet) par accès PP par chacun des systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$),
 - ♦ en mettant de manière sélective à disposition de différents groupes $(G_g^{(g=1...h)})$ de systèmes locaux (S_u) sur le serveur (Z) diverses fractions limitatives $((W_{ij}^k)_g)$ prédéfinies (notamment acquises par un abonnement spécifique) de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états probables futurs, ce notamment par l'intermédiaire d'un système d'identificateurs et de mots de passe transmis par chaque système local ($S_u^{(u=1...n)}$),
- et, de manière indépendante, au niveau de chacun des systèmes locaux (S_u), répétitivement :
 - ♦ on collecte ladite fraction $((W_{ij}^k)_g)$ prédéfinie attribuée de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s par accès sous une forme dite « PP amont », c'est-à-dire par accès via le réseau (R) (notamment de type Internet) du site centralisé émetteur (U) à son adresse spécifique, acquisition par transfert de ladite fraction $((W_{ij}^k)_g)$ prédéfinie attribuée de ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée et par enregistrement dans la mémoire (H_u) de l'ordinateur local (C_u).

24) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de scénarios probables, caractérisé en ce qu'en combinaison :

- on choisit préalablement n' ($n' \leq n$) systèmes industriels locaux, retenus parmi les n dits systèmes industriels locaux ($S_u^{(u=1...n)}$),
- 5 □ on choisit préalablement m' ($m' \leq m$) horizons de temps, retenus parmi les m dits horizons de temps ($t_k^{(k=1...m)}$), identiques pour tous les systèmes locaux,
- au niveau de chacun des n' systèmes locaux (S_u) retenus, pour chacun des m' horizons de temps (t_k) retenus :
 - ♦ on applique numériquement le modèle systémique local (D_u) préalablement fixé afin de déterminer dans chacun des s scénarios ($j = 1, \dots, s$) l'indicateur de rendement ($I_{uj}^k = D_u(\lambda_u, (X_{ij}(t_k))$) :
 - pour au moins une valeur particulière (λ_u) du vecteur des paramètres locaux d'action,
 - et pour chacun des s p -uplets simulés de variables d'état ($(X_{ij}(t_k))^{(i=1...p)}$), correspondant audit horizon de temps (t_k) retenu, de la série probabiliste de pseudo-états ($(X_j(t_k))^{(j=1...s)}$),
 - et on détermine les s pseudo-valeurs simulées de l'indicateur de rendement ($(I_{uj}(t_k, \lambda_u)) = (D_u(\lambda_u, X_j(t_k)))^{(j=1...s)}$) correspondantes,
 - ♦ on émet la « série de simulations locales » constituée des s pseudo-valeurs simulées de l'indicateur de rendement ($(I_{uj}(t_k, \lambda_u)) = (D_u(\lambda_u, X_j(t_k)))^{(j=1...s)}$) correspondantes du système local (S_u), de manière centralisante en direction d'un site centralisateur (B),
 - au niveau du site centralisateur (B),
 - ♦ on collecte les $s \times n'$ pseudo-valeurs simulées d'indicateurs de rendement ($(I_{uj}(t_k, \lambda_u))^{(j=1...s)}$) en provenance des chacun des n' systèmes locaux (S_u) et pour chacune des s simulations,
 - ♦ on calcule, pour chaque simulation ($j = 1, \dots, s$) un indicateur de rendement global (J_j) de l'ensemble des systèmes locaux à partir d'un modèle d'évaluation global ($J_j = (D(I_{uj}(t_k, \lambda_u))^{(u=1...n')})$),
 - ♦ on regroupe et on ordonne les s valeurs correspondantes de l'indicateur de rendement ($(J_j(t_k; \lambda_1, \dots, \lambda_n))^{(j=1...s)}$), selon son niveau,
 - ♦ on calcule et on mémorise l'histogramme (Γ) ainsi que la distribution de probabilité (en nombre ou pourcentage) ($\Psi(J)$) du niveau atteint de l'indicateur de rendement global (J) dans la configuration choisie des vecteurs de paramètres locaux d'action ($\Lambda = (\lambda_u^{(u=1...n')})$), selon les modèles locaux (D_u) et le modèle d'évaluation global (D) retenus,
 - ♦ on en déduit par un calcul statistique la valeur d'au moins un paramètre statistique de réglage global choisi ($V(\Lambda)$) (tel que : moyenne, écart type, Value at Risk, utilité, etc...) caractéristique :
 - de la distribution de probabilité ($\chi(\lambda_1, \dots, \lambda_n, J)$) des niveaux de rendement globaux ($(J(t_k; \lambda_1, \dots, \lambda_n))$),
 - en fonction des valeurs du multi-vecteur ($\Lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)$) des vecteurs de paramètres locaux d'action (λ_u),
 - ♦ (éventuellement) on effectue globalement une optimisation numérique (selon des critères prédéfinis) du paramètre statistique de réglage global choisi ($V(\Lambda)$) par rapport au multi-vecteur ($\Lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)$) et on transmet à chaque système local (S_u) le niveau correspondant de son vecteur optimisé des paramètres locaux d'action (λ_u), afin notamment d'anticiper globalement le comportement probable futur et l'efficacité de l'ensemble des systèmes locaux (S_u) soumis à l'environnement (E) au cours du (ou des) horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).

25) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de pseudo-états futurs probables de variables de marché, pour la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de n (n étant très grand $\gg 1$) d'opérateurs financiers locaux ($S_u^{(u=1...n)}$) :

- 5 ☐ décentralisés et très distants les uns des autres,
- ☐ possédant chacun un portefeuille ($P_u^{(u=1...n)}$) :
 - ♦ constitué d'actifs financiers ($\theta_h^{(h=1...q)}$),
 - ♦ dont la valeur ($I_u^{(u=1...n)}$) dépend des mouvements du marché des capitaux (E),
 - ♦ et dont la valeur ($I_u^{(u=1...n)}$) peut être calculée par combinaison :
- 10 • d'un vecteur de variables de marché ($X(t) = (X_i(t)^{(i=1...p)})$ communes variant au cours du temps (t), à partir duquel il est possible, pour chaque opérateur financier local distant (S_u), de reconstituer avec une précision acceptable la valeur de tous les actifs financiers pouvant être présents dans son portefeuille (P_u), selon un modèle local d'évaluation (D_u), (ces variables de marché pouvant représenter
- 15 des prix d'actifs ou de commodités, des taux d'intérêt ou des coefficients de courbe de taux, des volatilités ou des coefficients de surfaces de volatilité, des indicateurs de défaut d'un émetteur ou d'une contrepartie, ou tout autre nombre apportant une information pertinente sur l'état des marchés de capitaux),
- 20 • et, pour chaque opérateur financier local distant (S_u), d'un vecteur de quantités ($\lambda_u = (\lambda_{uh}^{(h=1...q)})$ de chacun des actifs financiers ($\theta_h^{(h=1...q)}$) détenus dans son portefeuille (P_u), par exemple selon la combinaison linéaire :

$$I_u(t) = \sum_{h=1}^q \lambda_{uh} \pi_u(t, X(t), \theta_h) \quad (***)$$

où ($\pi_u(t, X(t), \theta_h)$) représente le prix de l'actif (θ_h) à l'instant (t) selon le modèle local (D_u) lorsque le marché est dans l'état $X(t)$, ou une autre formule pouvant

25 faire apparaître une non-linéarité par rapport aux quantités (λ_{uh}), pour tenir compte notamment du risque de liquidité;

ce procédé étant du type consistant :

- ☐ au niveau d'un site expert (U'), très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n opérateurs financiers locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$), à faire préalablement le choix :
 - 30 ♦ des p variables de marché ($(X_i)^{(i=1...p)}$) décrivant l'ensemble du marché (E),
 - ♦ et d'un modèle statistique du comportement joint au temps (t) et par tranches de temps ($\Delta t_k^{(k=1...n)}$) des variables de marché ($X_i(t)^{(i=1...p)}$), décrit par sa densité de distribution jointe ($f_{\alpha}(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k)$) :
 - 35 • justifié à partir d'observations historiques — il peut s'agir notamment de lois normales, log-normales, etc., ou plus généralement d'une distribution statistique jointe des p variables d'environnement ($X_i(t_k)^{(i=1...p)}$) ou de leurs variations temporelles ($\Delta X_i(t_k)^{(i=1...p)}$),
 - 40 • et validé par des tests statistiques classiques adéquats (moyennes, variances, corrélations, sauts, comportements extrêmes, ...),
- ☐ au niveau d'un site centralisé émetteur (U), très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1...n)}$) :
 - 45 ♦ à générer numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_{\alpha}(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables de marché ($X_i(t)^{(i=1...p)}$), une « *smg* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valorée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(c)s du marché (E) constituée :

- cas 1 : d'une « smp série probabiliste » (X_{ij}^k) de pseudo-états formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-états futurs $(X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$, comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques possibles des p variables de marché $(X_i(t_k))^{(i=1 \dots p)}$ et constituées :
 - 5 ▪ pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps $(t_k^{(k=1 \dots m)})$ de la simulation,
 - de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-états futurs possibles des p variables de marché $(X_i(t_k))^{(i=1 \dots p)}$,
 - cas 2 : et/ou éventuellement, d'une « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-variations $(\Delta X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$ futures à partir de l'état courant des variables de marché $(X_i(t_0))^{(i=1 \dots p)}$, comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques de pseudo-variations futures probables des p variables d'état $(X_i(t_k))^{(i=1 \dots p)}$ et constituées :
 - 10 ▪ pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps $(t_k^{(k=1 \dots m)})$ de la simulation,
 - de s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-variations numériques possibles $(\Delta X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s)}$ des p variables de marché $(X_i(t_k))^{(i=1 \dots p)}$,
- 15 le procédé étant caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau du site centralisé émetteur (U) très distant de la majorité des n opérateurs financiers locaux distants $(S_u^{(u=1 \dots n)})$, répétitivement à des instants (t_0) :
 - 20 ♦ on diffuse ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo variations probables futur(e)s, comprenant $s \times m \times p$ pseudo-valeurs numériques, constituée par :
 - a. (cas 1) ladite « smp série probabiliste » (X_{ij}^k) des pseudo-valeurs des variables de marché $(X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$,
 - 25 b. (cas 2) et/ou ladite « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) des pseudo-variations $(\Delta X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$,
 - ce de manière décentralisée
 - du site émetteur (U),
 - en direction de l'ensemble de la multitude des opérateurs locaux distants (S_u) ;
 - et, de manière indépendante, au niveau de chacun des opérateurs locaux (S_u) , majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), répétitivement :
 - 30 ♦ on collecte ladite « smp série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times p$ valeurs numériques $(W_{ij}^k = X_{ij}^k \text{ ou } \Delta X_{ij}^k)$,
 - 35 ♦ on choisit m' ($m' \leq m$) horizons de temps, retenus parmi les m dits horizons de temps $(t_k^{(k=1 \dots m)})$,
 - ♦ éventuellement, dans le cas (2) où l'on reçoit uniquement ladite « smp série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) d'échantillons variationnels $(\Delta X_{ij}(t_k))$, on calcule localement ladite « smp série probabiliste » (X_{ij}^k) des pseudo-états constituée de pseudo-échantillons d'états futurs $(X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$ correspondante, (au moins pour les m' horizons de temps (t_k) retenus),
 - 40 ♦ pour chacun des m' horizons de temps (t_k) retenus :
 - on calcule numériquement selon le modèle local d'évaluation (D_u) préalablement fixé, dans chacun des s scénarios ($j = 1, \dots, s$), la valeur globale $(I_{uj}^k) = (D_u(\lambda_u, X_j(t_k)))$ du portefeuille (P_u) :
 - 45 ▪ pour au moins une valeur particulière $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ du vecteur (λ_u) des quantités d'actifs détenus,
 - et pour chacun des s p -uplets simulés de variables d'état $(X_{ij}(t_k))$, correspondant audit horizon de temps (t_k) retenu, de la série probabiliste de pseudo-état $(X_{ij}(t_k))^{(i=1 \dots p)}$,

et on détermine les s pseudo-valeurs simulées du portefeuille $(I_{u,j}(t_k, \lambda_u)) = D_u(\lambda_u, X_j(t_k))^{(j=1 \dots s)}$ correspondantes,

- on regroupe et on ordonne les s valeurs correspondantes $(I_{u,j}(t_k, \lambda_u))^{(j=1 \dots s)}$ du portefeuille (P_u) ,
 - 5 ▪ on calcule et on mémorise la distribution de probabilité (en nombre ou pourcentage) $\Psi_u(I_u)$ de la valeur (I_u) du portefeuille local (P_u) dans la configuration (λ_u) , selon le modèle local (D_u) ,
 - on en déduit par un calcul statistique la valeur d'au moins un paramètre statistique de réglage choisi $(V(\lambda_u))$ (tel que : moyenne, écart type, Value-at-Risk, utilité, etc ...) caractéristique :
 - 10 ▪ de la distribution de probabilité $\Psi((\lambda_u), I)$ des valeurs $(I_u(t_k, \lambda_u))$,
 - et du vecteur $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ décrivant le portefeuille (P_u) ,
 - ♦ (éventuellement) on effectue localement, au niveau de chaque opérateur local (S_u) , une optimisation numérique (selon des critères prédéfinis) du (ou des) paramètre(s) statistique(s) de réglage choisi $(V(\lambda_u))$, et on ajuste la composition du portefeuille
 - 15 $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ de chaque opérateur local (S_u) à une valeur optimale calculée en fonction des critères préétablis, afin notamment d'anticiper le comportement probable futur et le rendement de chaque portefeuille (P_u) soumis au marché (E) au cours du ou des horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).
- 20 26) Procédé selon la revendication 2 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de pseudo-états futurs probables de variables de marché, pour la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de n (n étant très grand $\gg 1$) d'opérateurs financiers locaux $(S_u^{(u=1 \dots n)})$:
- décentralisés et très distants les uns des autres,
 - 25 □ possédant chacun un portefeuille $(P_u^{(u=1 \dots n)})$:
 - ♦ constitué d'actifs financiers $(\theta_h^{(h=1 \dots q)})$,
 - ♦ dont la valeur unitaire $(I'_h)^{(h=1 \dots q)}$ dépend des mouvements du marché des capitaux (E) , et est une fonction d'un vecteur de variables de marché $(X(t)) = (X_i(t))^{(i=1 \dots p)}$ communes variant au cours du temps (t) , à partir duquel il est possible, avec une
 - 30 précision acceptable, de reconstituer la valeur de tous les actifs financiers pouvant être présents dans les portefeuilles (P_u) des acteurs locaux, selon un modèle commun d'évaluation (D) , (ces variables de marché pouvant représenter des prix d'actifs ou de commodités, des taux d'intérêt ou des coefficients de courbe de taux, des volatilités ou des coefficients de surfaces de volatilité, des indicateurs de défaut d'un émetteur ou d'une contrepartie, ou tout autre nombre apportant une information
 - 35 pertinente sur l'état des marchés de capitaux),
 - ♦ et dont la valeur $(I_u^{(u=1 \dots n)})$ peut être calculée par produit scalaire entre :
 - le vecteur des valeurs unitaires $(I') = (I'_h)^{(h=1 \dots q)}$
 - et, pour chaque opérateur financier local distant (S_u) , d'un vecteur de quantités $(\lambda_u) = (\lambda_{uh})^{(h=1 \dots q)}$ de chacun des actifs financiers $(\theta_h^{(h=1 \dots q)})$ détenus dans son
 - 40 portefeuille (P_u) :

$$D_u(\lambda_u, X) = (\lambda_u | I') \quad (***)$$

où $(I'_h) = (\pi_h(t, X(t), \theta_h))$ représente le prix de l'actif (θ_h) à l'instant (t) selon le modèle commun (D) lorsque le marché est dans l'état $(X(t))$,

45 ce procédé étant du type consistant :

- au niveau d'un site expert (U') , très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n opérateurs financiers locaux distants $(S_u^{(u=1 \dots n)})$, à faire préalablement le choix :
- ♦ des p variables de marché $(X_i^{(i=1 \dots p)})$ décrivant l'ensemble du marché (E) ,

- ♦ et d'un modèle statistique du comportement joint au temps (t) et par tranches de temps ($\Delta t_k^{(k=1 \dots m)}$) des variables de marché ($X_i(t)^{(i=1 \dots p)}$), décrit par sa densité de distribution jointe ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k)$) :
 - justifié à partir d'observations historiques — il peut s'agir notamment de lois normales, log-normales, etc., ou plus généralement d'une distribution statistique jointe des p variables d'environnement ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$) ou de leurs variations temporelles ($\Delta X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$),
 - et validé par des tests statistiques classiques adéquats (moyennes, variances, corrélations, sauts, comportements extrêmes, etc.),
 - au niveau d'un site centralisé émetteur (U), très distant (de plusieurs kilomètres, voire de plusieurs centaines de kilomètres) d'une majorité des n systèmes industriels locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$) :
 - ♦ à générer numériquement répétitivement à des instants (t_0) successifs, à partir du modèle statistique retenu ($f_\alpha(X_1, \dots, X_p; t; \Delta t_k)$) du comportement joint dans le temps (t) des variables de marché ($X_i^{(i=1 \dots p)}$), une « *smp* série probabiliste » (W_{ij}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s du marché (E), constituée :
 - cas n°1 : d'une « *smp* série probabiliste » (X_{ij}^k) de pseudo-états formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-états futurs ($X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$), comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques représentant :
 - pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$) de la simulation,
 - s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-états futurs possibles des p variables de marché ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$),
 - cas n°2 : d'une « *smp* série probabiliste variationnelle » (ΔX_{ij}^k) de pseudo-états formée de $s \times m$ p -uplets d'échantillons multi-valués de pseudo-variations futures ($\Delta X_{ij}(t_k)^{(i=1 \dots p, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$), comprenant $s \times m \times p$ valeurs numériques représentant :
 - pour chacun des m ($m \geq 1$) horizons de temps ($t_k^{(k=1 \dots m)}$) de la simulation,
 - s (avec s très grand $\gg 1$) pseudo-variations futures possibles des p variables de marché ($X_i(t_k)^{(i=1 \dots p)}$),
 - ♦ à calculer pour chaque vecteur (X_j^k) de pseudo-état des variables de marché une « *smq* série probabiliste » (W'_{hj}^k) multi-valuée de description :
 - cas n°1 : des pseudo-prix probables futurs d'actif

$$(I'_{hj}^k)^{(h=1 \dots q, j=1 \dots s, k=1 \dots m)} = D(t_k, X_j(t_k), \theta_h)$$
 - cas n°2 : et/ou des pseudo-variations ($\Delta I'_{hj}(t_k)^{(h=1 \dots q, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$) qui en découlent
- le procédé étant caractérisé en ce qu'en combinaison :
- au niveau du site centralisé émetteur (U) très distant de la majorité des n opérateurs financiers locaux distants ($S_u^{(u=1 \dots n)}$), répétitivement à des instants (t_0) :
 - ♦ on diffuse, ladite « *smq* série probabiliste » (W'_{hj}^k) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo variations probables futur(e)s, comprenant $s \times m \times q$ pseudo-valeurs numériques constituée par :
 - (cas 1) ladite « *smq* série probabiliste » (I'_{hj}) des pseudo-valeurs des prix des actifs ($I'_{hj}^k)^{(h=1 \dots q, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$,
 - (cas 2) et/ou ladite « *smq* série probabiliste variationnelle » des pseudo-variations ($\Delta I'_{hj}^k)^{(h=1 \dots q, j=1 \dots s, k=1 \dots m)}$,
 - ce de manière décentralisée
 - du site émetteur (U),
 - en direction de l'ensemble de la multitude des opérateurs locaux distants (S_u) ;
 - et, de manière indépendante, au niveau de chacun des opérateurs locaux (S_u), majoritairement très distants du site centralisé émetteur (U), répétitivement :

- ◇ on collecte ladite « smq série probabiliste » ($W'_{h,j}^k$) multi-valuée de description des pseudo-états ou pseudo-variations probables futur(e)s à $s \times m \times q$ valeurs numériques ($W'_{h,j}^k = I'_{h,j}^k$ ou $\Delta I'_{h,j}^k$),
- ◇ on choisit m' ($m' \leq m$) horizons de temps, retenus parmi les m dits horizons de temps ($t_k^{(k=1...m)}$),
- ◇ éventuellement, dans le cas (2) où l'on reçoit uniquement ladite « smq série probabiliste variationnelle » ($\Delta I'_{h,j}^k$) d'échantillons variationnels ($\Delta I'_{h,j}(t_k)$), on calcule localement ladite « smq série probabiliste » ($I'_{h,j}^k$) des pseudo-états constituée de pseudo-échantillons d'états futurs ($I'_{h,j}(t_k)^{(h=1...q, j=1...s, k=1...m)}$) correspondante, (au moins pour les m' horizons de temps (t_k) retenus),
- ◇ pour chacun des m' horizons de temps (t_k) retenus :
 - on calcule numériquement selon le modèle local d'évaluation (D_u) préalablement fixé dans chacun des s scénarios ($j = 1, \dots, s$) la valeur globale ($I_{u,j}^k = (\lambda_u | I_j^k)$) du portefeuille (P_u) :
 - pour au moins une valeur particulière du vecteur $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ des quantités d'actifs détenus,
 - et pour chacun des s q -uplets simulés de prix d'actifs ($I'_{h,j}(t_k)$), correspondant audit horizon de temps (t_k) retenu, de la série probabiliste de pseudo-états ($I'_{h,j}(t_k)^{(j=1...s)}$),
 - et on détermine les s pseudo-valeurs simulées du portefeuille ($I_{u,j}(t_k, \lambda_u) = (\lambda_u | I_j^k)^{(j=1...s)}$) correspondantes,
 - pour la valeur $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ du vecteur des paramètres locaux d'action retenus,
 - on regroupe et on ordonne les s valeurs correspondantes ($I_{u,j}(t_k, \lambda_u)^{(j=1...s)}$) du portefeuille (P_u),
 - on calcule et on mémorise l'histogramme (Γ_u) ainsi que la distribution de probabilité (en nombre ou pourcentage) ($\Psi_u(I_u)$) de la valeur (I_u) du portefeuille local (P_u) dans la configuration (λ_u) , selon le modèle local (D_u),
 - on en déduit par un calcul statistique la valeur d'au moins un paramètre statistique de réglage choisi ($V(\lambda_u)$) (tel que : moyenne, écart type, Value-at-Risk, utilité, etc...) caractéristique :
 - de la distribution de probabilité ($\Psi_u(\lambda_u, I_u)$) des valeurs ($I_u(t_k, \lambda_u)$),
 - en fonction du vecteur $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ décrivant le portefeuille (P_u),
 - ◇ (éventuellement) on effectue localement, au niveau de chaque opérateur local (S_u), une optimisation numérique (selon des critères prédéfinis) du (ou des) paramètre(s) statistique(s) de réglage choisi ($V(\lambda_u)$), et on ajuste la composition du portefeuille $(\lambda_u) = (\lambda_{u1}, \dots, \lambda_{uq})$ de chaque opérateur local (S_u) à une valeur optimale calculée en fonction des critères préétablis, afin notamment d'anticiper le comportement probable futur et le rendement de chaque portefeuille (P_u) soumis au marché (E) au cours du ou des horizon(s) de temps (t_k) retenu(s).

27) Procédé selon la revendication 25 de simulation stochastique répétitive hiérarchisée par échantillonnage de pseudo-états futurs probables de variables de marché, pour la prédiction probabiliste du comportement futur et/ou l'optimisation des paramètres de rendement d'une multitude de n (n étant très grand $\gg 1$) d'opérateurs financiers locaux, ce procédé étant caractérisé en ce que :

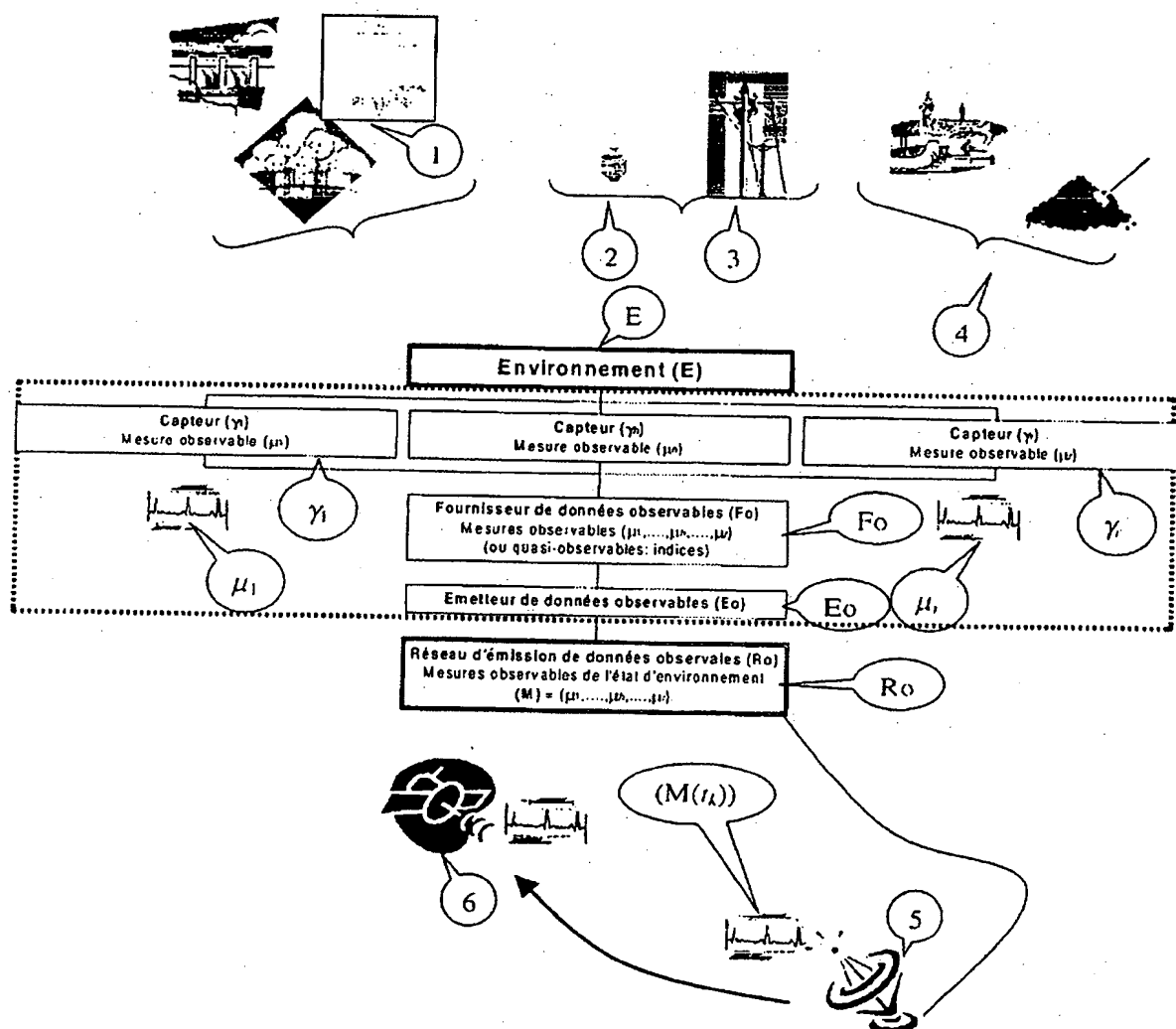
- pour évaluer la valeur ($I_{u,j}^k$) du portefeuille (P_u) d'un opérateur financier (S_u) à la date future (t_k) selon le modèle (D_u) et dans l'état du marché simulé ($X_j(t_k)$) correspondant au scénario (j), on prend en compte dans le modèle (D_u) les états de marché simulés dans le même scénario (j), aux dates ultérieures ($t_l^{(l=k+1...m)}$), selon le principe suivant :

- ♦ on définit pour chaque actif financier ($\theta_h^{(h=1 \dots q)}$) une quantité maximale (v_h) qu'il est possible de traiter (à l'achat ou à la vente) dans une journée,
- ♦ si aucune des quantités (λ_{uh}) d'actifs (θ_h) détenus dans les portefeuilles (P_u) n'excède en valeur absolue la valeur limite (v_h), alors on applique la formule (***) pour évaluer, à la date (t_k) et dans la simulation (j) la valeur ($I_{u,j}^k$) du portefeuille (P_u) :

$$I_{u,j}^k = \sum_{h=1}^q \lambda_{uh} \pi_h(t_k, X_j(t_k), \theta_h)$$

- ♦ si une des quantités (λ_{uh}) d'actifs (θ_h) détenus dans un des portefeuilles (P_u) excède en valeur absolue la valeur limite (v_h), alors on remplace la quantité (λ_{uh}) par (v_h), affectée de son signe, à la date (t_k) et on reporte le reliquat ($\lambda_{uh} \pm v_h$) sur la date suivante (t_{k+1}) en utilisant le vecteur de variables de marché ($X_j(t_{k+1})$) ;
- ♦ si cette quantité était encore en valeur absolue supérieure à la limite (v_h), on la fixe à la valeur maximale (v_h), avec le même signe, et on reporte à nouveau le reliquat ($\lambda_{uh} \pm 2v_h$) sur la date suivante (t_{k+2}) en utilisant le vecteur de variables de marché ($X_j(t_{k+2})$), et ainsi de suite... ;
- 15 ceci, notamment pour tenir compte du risque de liquidité imposant des contraintes de borne supérieure à la quantité de chaque actif (θ_h) que l'on est en droit de valoriser selon le modèle local (D_u) à une date donnée (t_k), et entraînant un report éventuel de la position virtuelle résultante dans chaque simulation sur des dates ultérieures.

Figure 1



The diagram illustrates the architecture of a probabilistic emission site (Site émetteur probabiliste) and its interaction with a network and an external site (Site expert).

Site émetteur probabiliste (U):

- Récepteur (Ro):** Receives observable measurements ($y_1, \dots, y_p, \dots, y_t$) from the network (Rp).
- Emetteur (Ap):** Emits probabilistic series of pseudo-states/variables ($W_{i,j}$) towards the network (Rp).

Site expert (U'):

- Interface de modélisation (Ω):** Choix variables et modèles.
- Modèle descriptif d'environnement:** $X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \sim \Phi(\mu, \sigma)$.
- Horizons de temps:** $\{t_1, \dots, t_n, \dots, t_m\}$.
- Lois statistiques paramétrées des facteurs de risque:** $f_k(X_1, X_n)$.

Calculateur (C):

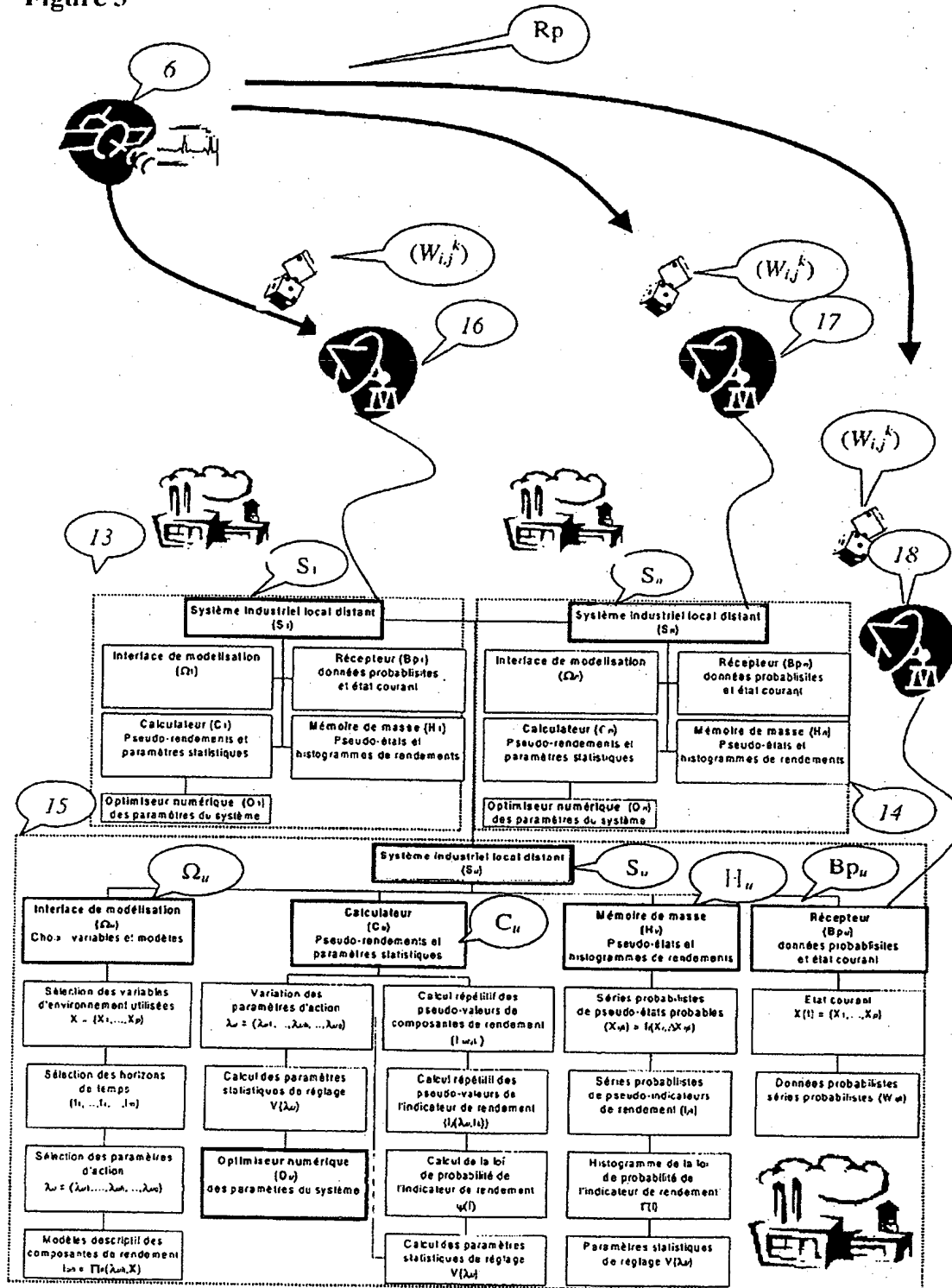
- Simulateur de scénarios:** Génération des séries de pseudo-états/variables.
- Générateur aléatoire (G):** de nombres pseudo-aléatoires (ω).
- Paramètres α de la distribution jointe des facteurs de risque:** $f_k(X_1, X_n)$.
- Calcul des séries probabilistes de pseudo-états/variables:** ($W_{i,j}$).
- Calibrateur des paramètres:** Actualisation des modèles.
- Historique périodique des mesures observables:** $M(t) = \{y_1, \dots, y_t\}$.
- Historique périodique des facteurs de risque:** $X(t) = \{X_1, \dots, X_n\}$.
- Paramètres statistiques α de la distribution des facteurs de risque:** moyennes, corrélations, événements extrêmes.
- Séries probabilistes de pseudo-états/variables probables:** ($W_{i,j}$) pour différents horizons de temps.

Diagram Details:

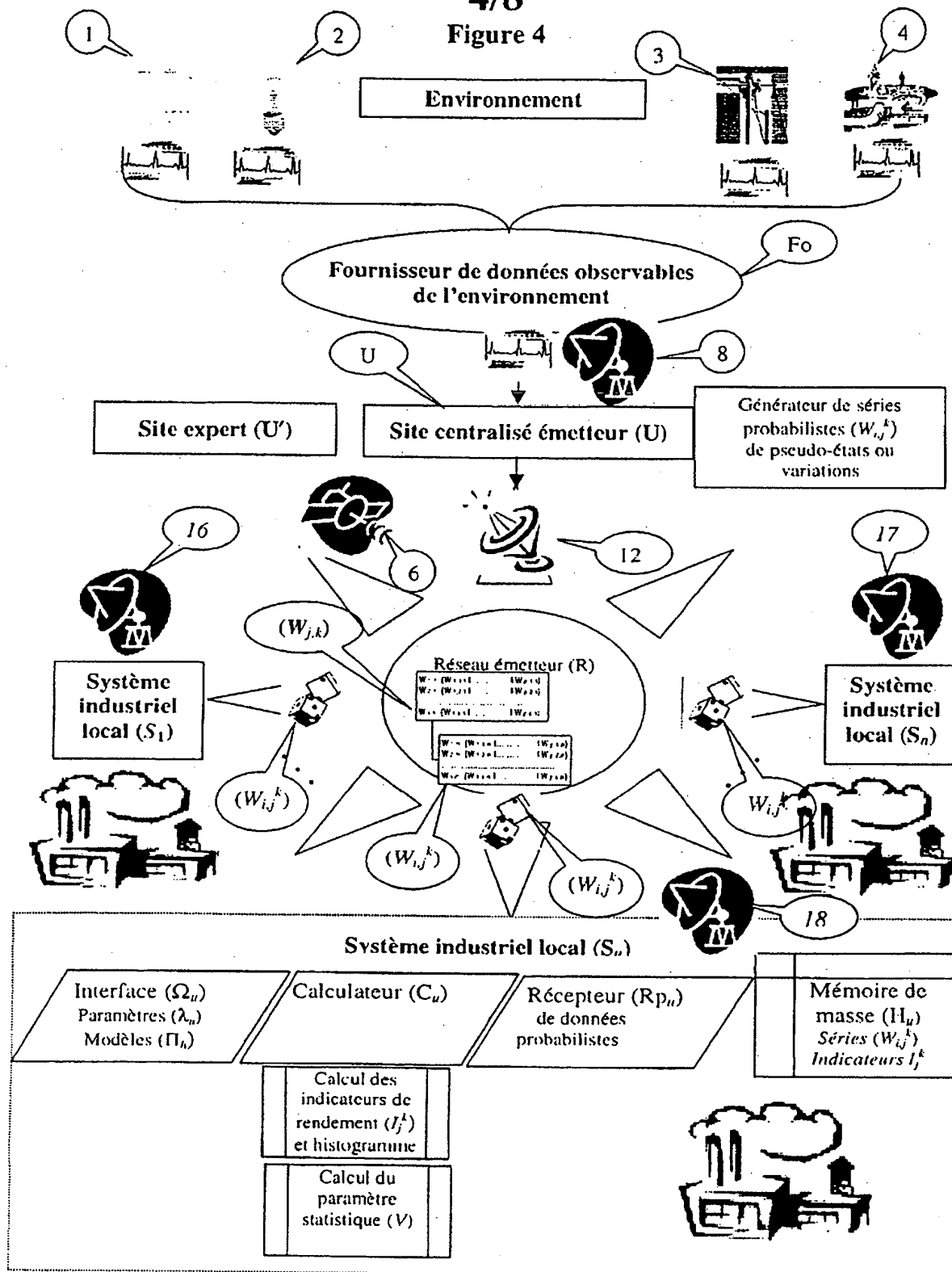
- Site centralisé émetteur probabiliste (U):** The central processing unit.
- Site expert (U'):** The external site providing models and data.
- Calculateur (C):** The central calculator.
- Mémoire de masse (H):** Mass memory.
- Horizon (t1) to (tn):** Time horizons for the probabilistic series.
- Labels:** U' , R_o , Ω , 9 , 10 , 11 , 12 , R_p , U , A_p , H .
- Mathematical Notation:** $M(t_k)$, $(W_{i,j}^k)$, $f_k(X_1, X_n)$, $X(t) = \{X_1, \dots, X_n\}$, $W_{i,j} = (W_{i,j,1}, \dots, W_{i,j,n})$.

3/8

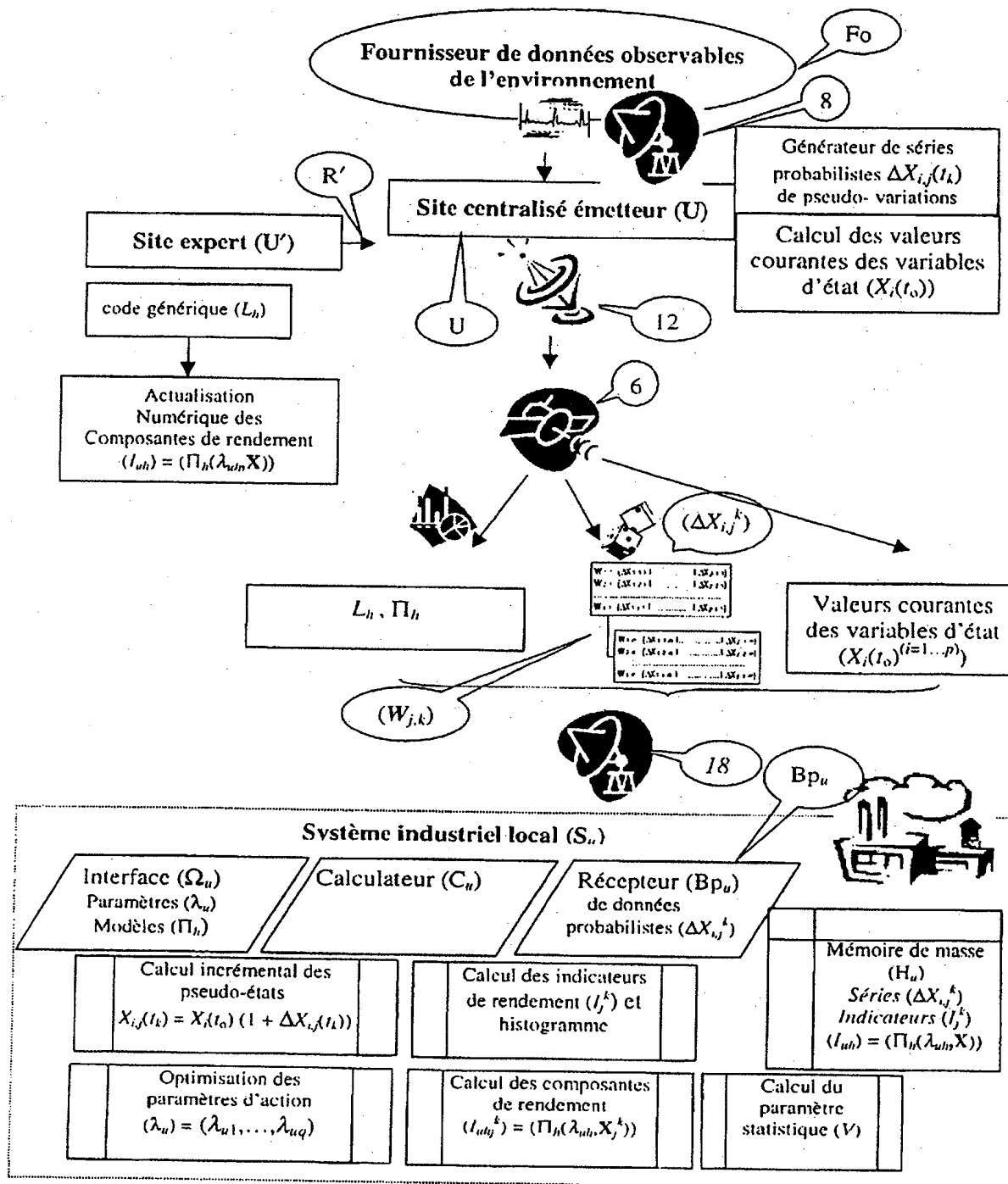
Figure 3



4/8
Figure 4



5/8
Figure 5



6/8

Figure 6

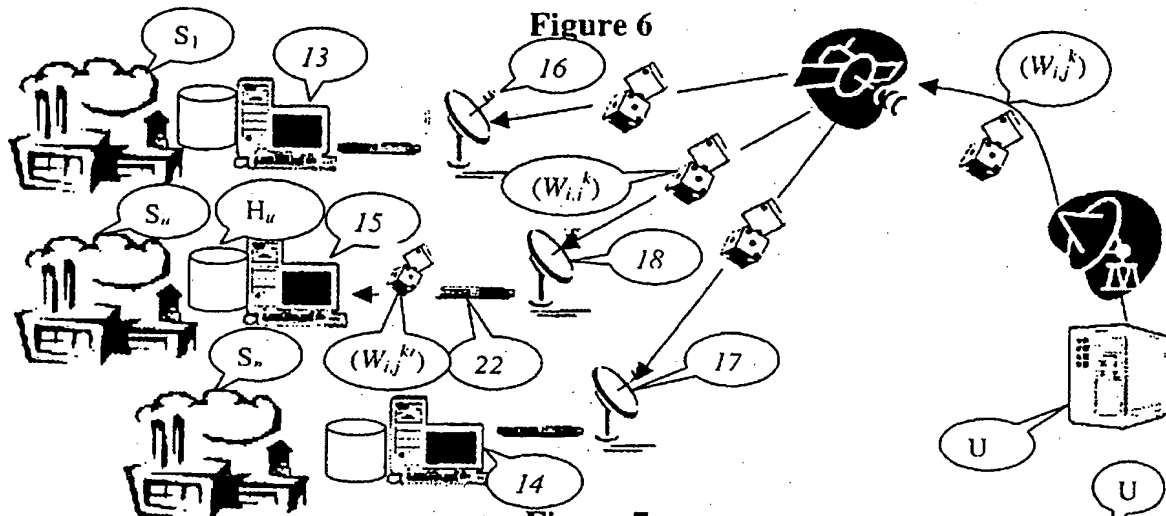


Figure 7

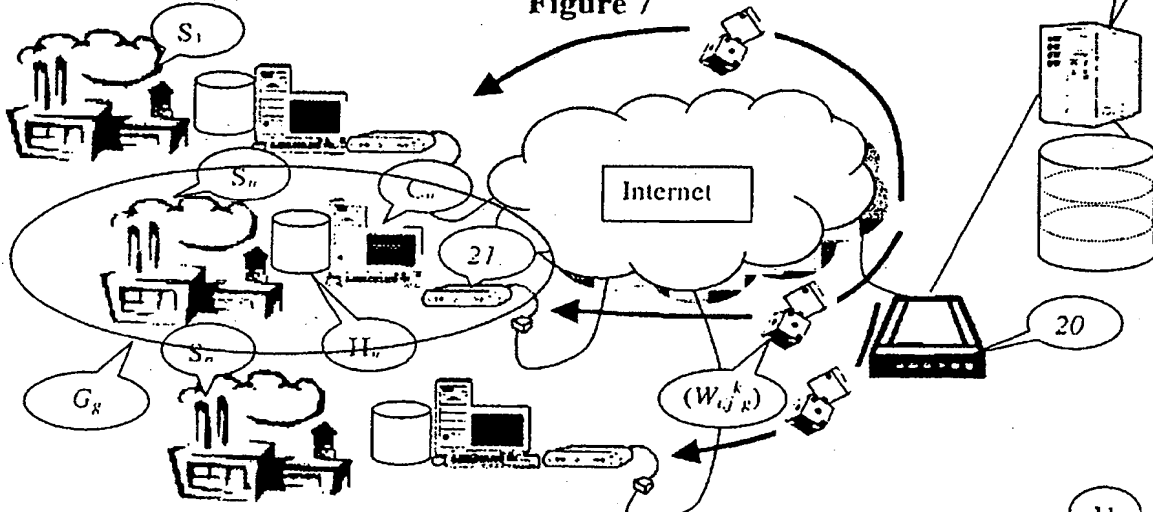
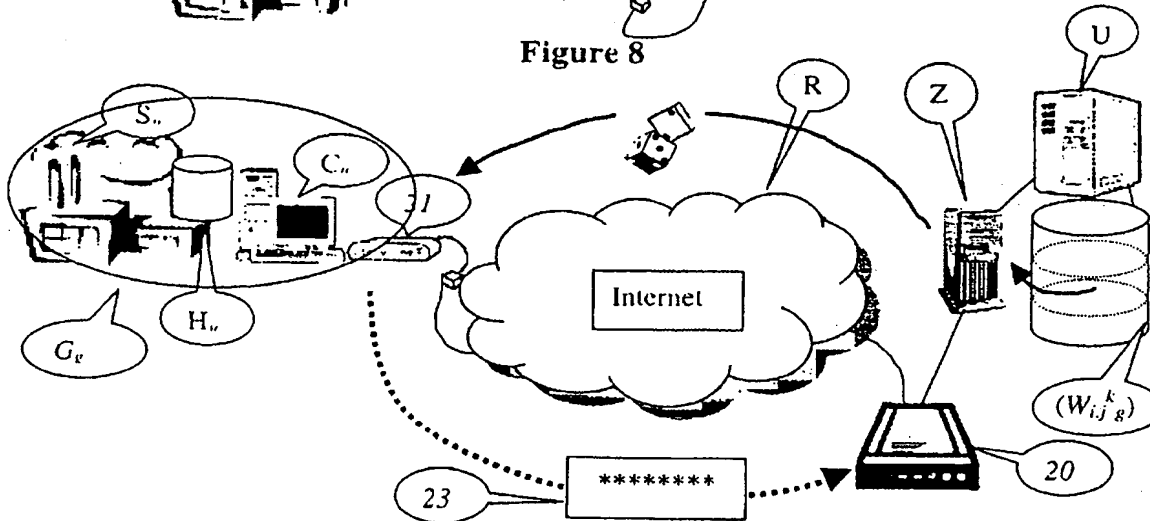
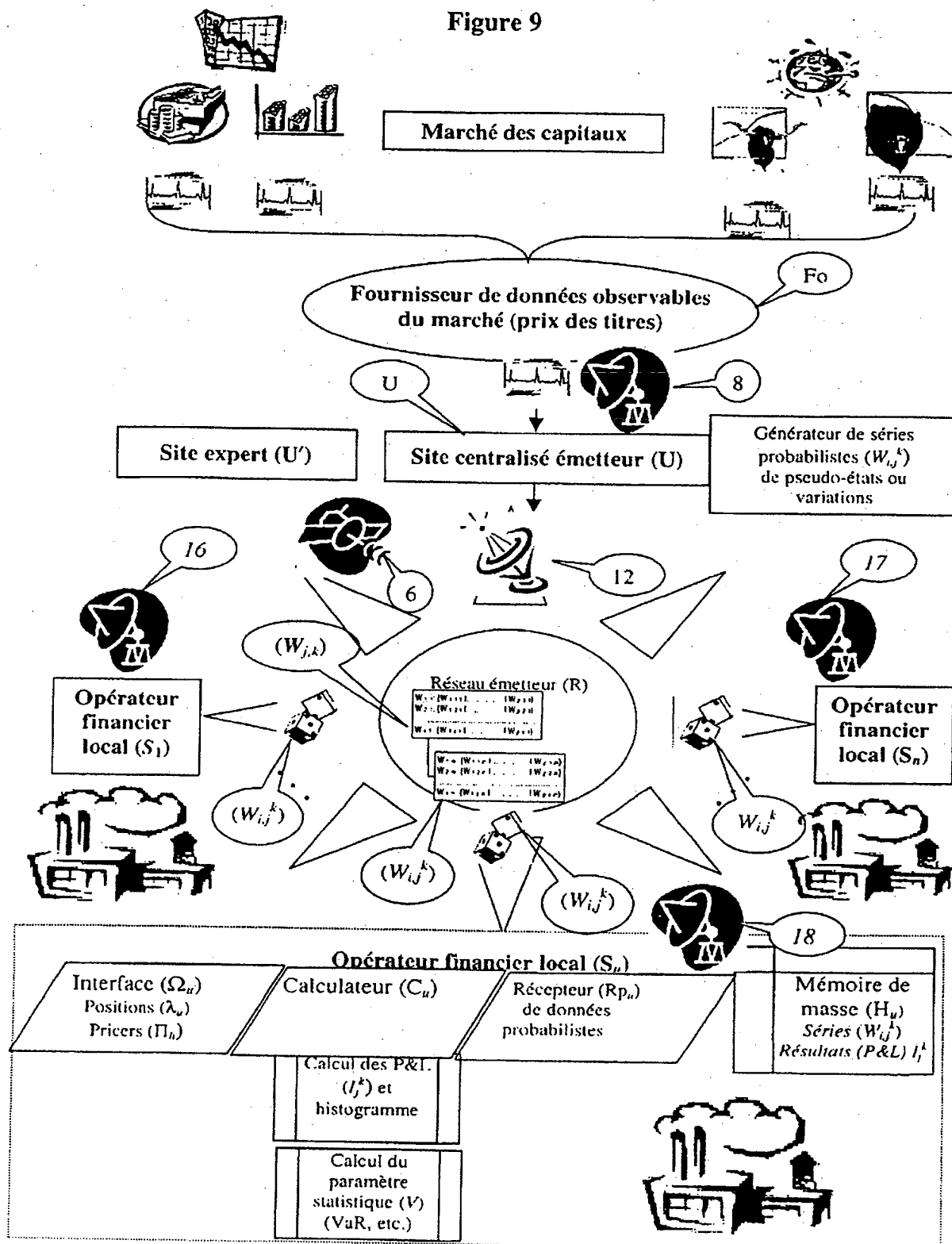


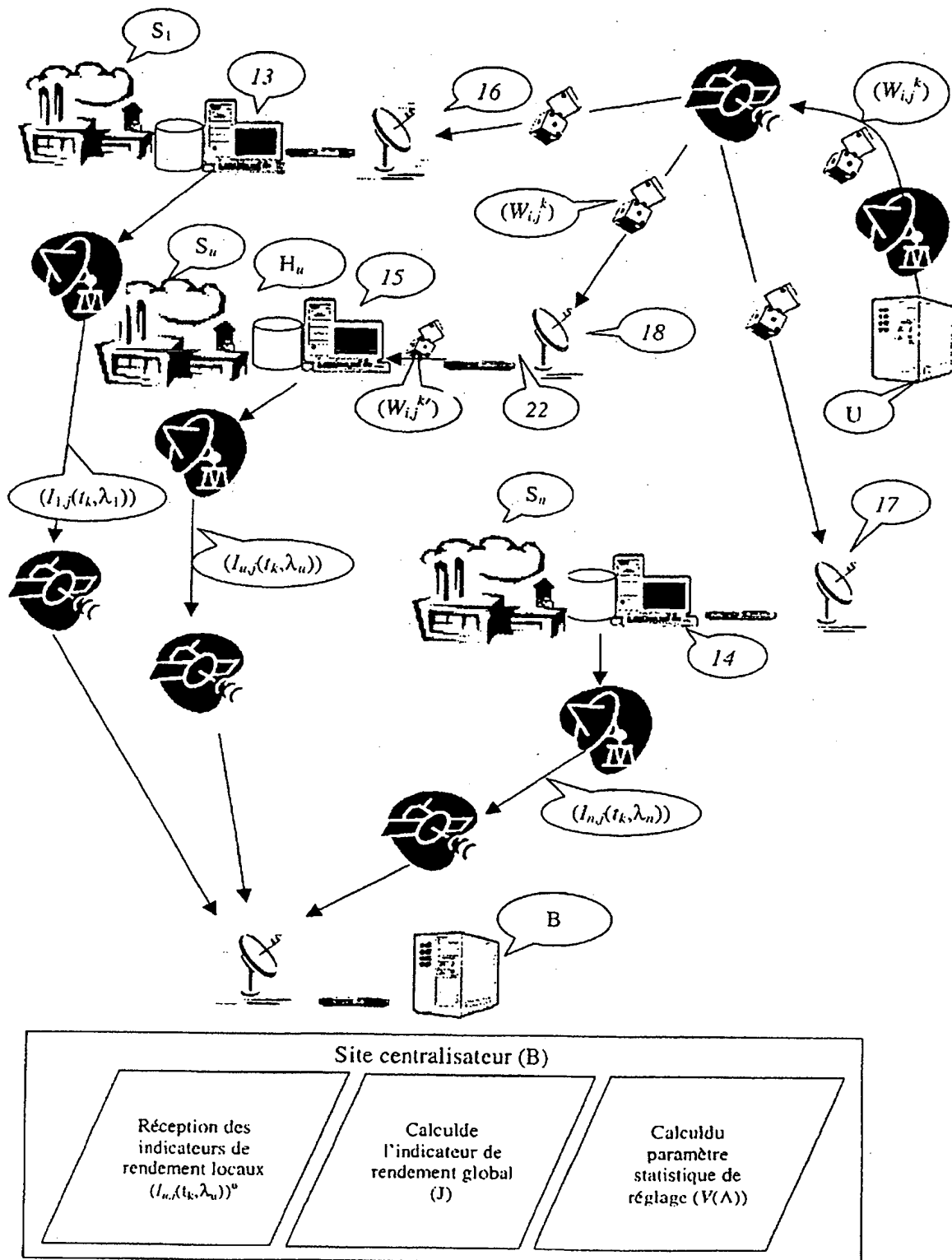
Figure 8



7/8
Figure 9



8/8
Figure 10





DÉCLARATION

remplaçant en tout ou en partie le
rapport de recherche préliminaire

2808909

N° d'enregistrement
national

FA 593813
FR 0006113

L'examineur chargé de la recherche estime que la présente demande de brevet n'est pas conforme aux dispositions du code de la propriété intellectuelle au point qu'une recherche significative sur l'état de la technique ne peut être effectuée au regard de toutes les revendications

Classement attribué
à l'invention par l'INPI

Raison :

Les revendications présentes contiennent des options, des expressions vagues et des termes conditionnels. Elles manquent d'expressions techniques. Elles sont dirigées d'une manière confuse et trompeuse. Un manque de clarté s'ensuit. De plus il est impossible de déterminer l'objet pour laquelle une protection est demandée. Le manque de clarté, et l'impossibilité de détermination sont telles qu'une recherche significative de l'objet des revendications devient impossible. Par conséquent, aucun rapport de recherche ne peut être établi pour la présente demande.

Seulement pour exemple non limitatif, les revendications 1 et 2 contiennent, entre autres choses, les options, expressions vagues ou termes conditionnels suivants:

- très distants
 - un environnement global commun évolutif, pouvant être décrit numériquement
 - peut en outre être décrite par un indicateur
 - on génère ... de manière centralisée
 - une <<smp série
 - pseudo-états probables futurs
 - pseudo-variations probables futures
 - horizons de temps
 - un traitement numérique statistique local spécifique
 - un traitement ... pour prédire le comportement futur probabiliste
 - et (éventuellement) on règle le niveau ... à une valeur optimale calculée en
- /--

1
EPO FORM 1504 12.99 (P04C40)

Date

LA HAYE

7 juin 2001

Examineur

Cohen, B



DÉCLARATION

remplaçant en tout ou en partie le
rapport de recherche préliminaire

2808909

N° d'enregistrement
nationalFA 593813
FR 0006113

L'examineur chargé de la recherche estime que la présente demande de brevet n'est pas conforme aux dispositions du code de la propriété intellectuelle au point qu'une recherche significative sur l'état de la technique ne peut être effectuée au regard de toutes les revendications

Classement attribué
à l'invention par l'INPI

Raison :

fonction des critères préétablis, afin
notamment d'anticiper le comportement
probable futur et l'efficacité de chaque
système

- justifié à partir d'observations
historiques
- il peut s'agir notamment de lois
normales, log-normales, etc. ou plus
généralement d'une distribution
statistique jointe
- validé par des tests statistiques
classiques adéquats

- et/ou éventuellement, d'une <<smp série
probabiliste variationnelle>>

1

EPO FORM 1504 12.98 (P4/C40)

Date

LA HAYE

7 juin 2001

Examineur

Cohen, B

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.